

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI
FEDERICO II**

Facoltà di Agraria

Dipartimento di Ingegneria Agraria e Agronomia del Territorio

Tesi sperimentale per il conseguimento del titolo di Dottore di ricerca in
“Scienze e tecnologie delle produzioni agro-alimentari”

***SALINITÀ DI “BREVE” E “LUNGO PERIODO”:
VALUTAZIONE DELL’EFFETTO DELL’APPLICAZIONE
DI ACIDI UMICI SULLA RISPOSTA DI POMODORO DA
INDUSTRIA***

Docente tutore:

Ch.mo Prof. Stefania De Pascale

Co-tutore:

Dott. Massimo Fagnano

Candidato:

Dott. Rosanna Caputo

Coordinatore:

Ch.mo Prof. Salvatore Spagna Musso

XVIII ciclo (2002-2005)

INDICE

1. Introduzione

1.1. Salinità dell'acqua

1.2. Formazione dei suoli salini

1.3. Effetti della salinità sulla struttura del terreno agrario

1.4. Misura della salinità dell'acqua e del suolo

1.5. Classificazione dei suoli salini

1.6. Piante e stress salino

1.7. Valutazione della tolleranza alla salinità

2. Introduzione

2.1. Materiale e metodi

3. Risultati

3.1. Andamento meteorologico

3.2. ECe e pH

3.3. Densità apparente, porosità e diametro medio degli aggregati (MWD)

3.4. Relazioni idriche

3.5. Accrescimento

3.6. Produzione

3.7. Qualità delle bacche

4. Discussioni

5. Conclusioni

1. Introduzione

Negli ultimi anni la ricerca si è sempre più orientata verso l'utilizzo di tecniche agronomiche che garantissero, non solo la quantità e qualità dei prodotti, ma soprattutto contribuissero alla sostenibilità dell'attività agricola, favorendo la conservazione delle risorse naturali e riducendo l'impatto ambientale. Uno degli aspetti più ampiamente studiati, soprattutto nelle regioni aride e semiaride del pianeta, rinvenibili in tutti e cinque i continenti e sia in Paesi sviluppati sia in quelli in via di sviluppo, ove le risorse idriche sono limitanti la produzione agricola, sia in termini quantitativi che qualitativi, è quello della salinizzazione delle terre irrigate. Negli ultimi 60-70 anni, molte informazioni sono state raccolte su tale fenomeno, consentendo di comprendere molti degli aspetti ad esso connessi e di sviluppare tecnologie capaci di limitare l'entità delle problematiche risultanti. Sebbene molte cose siano note, restano, tuttavia, degli aspetti oscuri, sui quali tuttora si svolge un'intensa attività di ricerca (Shalhevet, 1994).

Oltre alla notevole perdita di produzione agricola, la salinizzazione causa altri problemi quali danni alle infrastrutture e contaminazione delle falde acquifere (Pitman and Läuchli, 2002). I suoli salini e sodici riducono valore e produttività di ampie aree di tutto il mondo (Follett *et al.*, 1981). Si stima che ogni minuto nel mondo si perdono tre ettari di terreni coltivabili a causa della salinizzazione (F.A.O. & A.G.L., 2000b). Inoltre, a causa della cattiva gestione del suolo e delle acque, approssimativamente l'8 – 12% (circa 25 milioni di ettari) delle terre irrigate hanno registrato una diminuzione di produttività dovuta all'accumulo di sali (Umali, 2003). In più, altri 70 milioni di ettari sono moderatamente colpiti dal problema.

La salinizzazione è un problema diffuso in molteplici regioni del mondo. Negli Stati Uniti si è valutato che il 28% delle aree irrigate è salinizzato. La Cina ha problemi di

salinizzazione sul 23% delle terre, il Pakistan sul 21%, l'India sull'11% e il Messico sul 10%. Questa situazione non è statica, ed ogni anno circa 1,5 milioni di ettari in zone irrigate subisce la salinizzazione.

Questa perdita di suoli dovuta alla salinizzazione è occorsa nel periodo 1950-1990, quando la domanda di acqua è raddoppiata. In tale periodo, la domanda di acqua è aumentata del 300% in Africa e del 500% in Europa. La competizione fra settore urbano e agricolo per l'uso dell'acqua ha creato ristrettezze ed animosità, che limitano di molto le scelte disponibili per gli agronomi nella gestione di tale risorsa, incluso l'utilizzo del dilavamento per combattere la salinizzazione (Shannon, 1997; Goyal e Rains, 2003). Specificatamente, nel bacino Mediterraneo, circa 16 milioni di ettari sono salinizzati.

Sebbene siano più frequenti nelle zone desertiche e semi desertiche, i suoli salinizzati possono trovarsi anche in aree dove tutte le condizioni naturali sarebbero favorevoli alla produzione. Nell'areale mediterraneo spesso la salinizzazione del franco di coltivazione è associata alla cattiva gestione dell'irrigazione. (Tedeschi e Lacirignola, 1997). La popolazione mondiale è in continua crescita, mentre il totale delle terre irrigate sembra stabile. Quindi, la crescente domanda di cibo viene soddisfatta con l'incremento di produttività per unità di terreno (Pitman e Läuchli, 2002). Le terre irrigue producono il doppio rispetto a quelle non irrigue, coprendo così un terzo dell'intera domanda mondiale di cibo (Munns, 1999), tuttavia l'irrigazione è anche una delle prime cause della salinizzazione (Szabolcs, 1984).

L'Italia è ricca di risorse idriche rinnovabili derivanti dagli apporti meteorici. La dotazione teorica è stimata in 175 miliardi di m³ annui, valore superiore alla media dei Paesi europei, e le reali possibilità sono stimate in 51 miliardi di m³ annui. Nel bilancio totale a livello nazionale non ci dovrebbero essere problemi di approvvigionamento, ma

purtroppo tali quantitativi non sono distribuiti omogeneamente nell'arco dell'anno e sul territorio nazionale , anzi al contrario gli apporti sono concentrati proprio nel periodo in cui le richieste, soprattutto per l'irrigazione, sono più basse (autunno-inverno), ed a livello territoriale i prelievi sono concentrati nel Nord Italia (65%). (Fagnano e Quaglietta, 2003). In particolare, laddove le risorse idriche sono già deficitarie rispetto ai fabbisogni sta diventando sempre più pressante il problema della accorta gestione delle acque, in relazione non solo alla loro quantità ma anche alla loro qualità, e della ripartizione delle risorse tra i diversi usi. In molte zone dell'Italia meridionale, dove si è affermato e diffuso un comparto ortofloricolo, la disponibilità idrica è resa più precaria dall'elevata pressione demografica e dalla naturale maggiore domanda di evapotraspirazione dell'ambiente. Ne sono derivati da un lato la cronica carenza d'acqua per usi civili e dall'altro l'esasperato ed incontrollato emungimento di acqua per l'irrigazione, con conseguente abbassamento ed impoverimento delle falde che in non pochi casi si è risolto in infiltrazioni di acqua marina. Per tali motivi le acque derivate da pozzi risultano spesso qualitativamente scadenti prevalentemente per elevate concentrazioni di cloruro di sodio. (Barbieri e De Pascale, 1992). Per soddisfare queste contrastanti esigenze della società, sono state prese in considerazione anche risorse idriche non convenzionali di qualità più scadente, come acque saline, acque di drenaggio e acque reflue (Bouwer, 2000; Pereira *et al.*,2002).

1.1 La salinità dell'acqua

Stabilire l'idoneità di un'acqua per l'irrigazione è piuttosto complesso in quanto essa deve presentare determinate caratteristiche. In particolare si fa riferimento ai seguenti parametri:

- concentrazione totale dei sali in soluzione;
- rapporto relativo del sodio rispetto ad altri cationi;
- concentrazioni di ioni specifici che possono essere tossici per le piante.

La salinità resta comunque una delle caratteristiche più importanti per definire la qualità dell'acqua irrigua. Essa è determinata dalla dissociazione in acqua di sali minerali. I sali che più frequentemente si trovano disciolti nelle acque sono essenzialmente i nitrati, i cloruri, i solfati, i carbonati e i bicarbonati di elementi alcalini e alcalini terrosi (sodio, potassio, magnesio, calcio); altrettanto interessanti per i loro effetti, sono alcuni singoli elementi (boro, cloro, sodio etc.). Il contributo di un sale alla salinità dell'acqua è tanto maggiore quanto più elevata è la sua concentrazione ed in particolare quanto più esso è dissociato. L'utilizzo di acque saline comporta tutta una serie di problemi che si traducono innanzitutto in una riduzione di fertilità del suolo con conseguente maggiore difficoltà nello sviluppo radicale e nel processo di assorbimento dell'acqua da parte delle piante nonché una alterazione dei normali processi fisiologici delle piante con intensità diversa a seconda della quantità e qualità dei sali, del tipo di terreno, del clima, della specie coltivata, del suo stato biologico e dell'insieme dei fattori colturali adottati. (Kafkafi, 1991; Läuchli e Epstein, 1990; Maas, 1986).

Un aumento della salinità dell'acqua causa un aumento della pressione osmotica della soluzione circolante del suolo, che si traduce in una ridotta disponibilità di acqua per le piante (Barbieri e De Pascale, 1992). Se diversi terreni con caratteristiche simili hanno lo stesso contenuto di acqua, ma uno è libero da sali e gli altri sono salini, la pianta è in grado di estrarre ed usare più acqua dal primo che non da quelli salini. Inoltre, man mano che tra due successive irrigazioni l'acqua viene perduta per

evapotraspirazione, si ha un aumento della concentrazione di sali a causa del volume più ridotto di acqua contenuta nel suolo così che lo stress idrico ed osmotico divengono più gravi (Hsiao, 1973).

1.2 Formazione dei suoli salini.

I sali sono sempre presenti nei suoli anche se la loro origine può essere differente (Aringhieri, 1997). Generalmente, i sali sono composti ionici che formano cristalli. Sono di solito solubili in acqua, dove si separano i due ioni (cationi e anioni) (S.I., 2004). La solubilità del solfato di calcio o gesso (CaSO_4) è usata come standard per compararne la solubilità. Sali che hanno maggior solubilità rispetto al gesso (Na_2SO_4 or NaCl) sono considerati “solubili” e causano salinità. Quelli meno solubili del gesso (CaCO_3) sono considerati insolubili e non apportano salinità (Seelig, 2000). La salinità del suolo è causata dai sali solubili dissociati nella soluzione circolante del suolo (Panero, 1987). La quantità e il tipo di sali dipende dalle caratteristiche climatiche, morfologiche, pedologiche e idrologiche del suolo. Il solfato di calcio o gesso è frequente nelle zone desertiche o semi desertiche. I sali solubili (solfati, clorati, bicarbonati di calcio, sodio, potassio e magnesio) sono caratteristici dei suoli salini e alcalini (Sequi, 1989).

I principali sali che causano salinizzazione sono i clorati, solfati, bicarbonati, carbonati di sodio, potassio, magnesio e calcio. Anche il boro causa salinizzazione. Ad eguale concentrazione (espressa in mg or g/l or %) a sali differenti corrispondono differenti livelli di salinizzazione.

Le principali cause della salinizzazione nel nostro ambiente sono legate alla redistribuzione dell'acqua e sali solubili, sia sopra che sotto il suolo (B.A.P.,2004).

Nelle regioni umide, il dilavamento dovuto alla pioggia tende a rimuovere i sali, prevenendo la loro concentrazione negli strati superficiali del suolo (Aringhieri, 1997; De Pascale e Barbieri, 1995; 2000). I problemi associati alla salinizzazione sono, invece, più acuti nelle zone aride e semi aride del mondo, dove sia processi naturali (evapotraspirazione) che attività umane (disboscamento, gestione delle risorse e irrigazione) giocano la loro parte nella concentrazione dei sali nelle acque e nei suoli (Pitman e Läuchli, 2002). La dinamica dell'accumulo dei sali si può distinguere in due cicli: 1) salinizzazione primaria o naturale e 2) salinizzazione secondaria o antropogenica (indotta dall'uomo) (Munns, 1999; F.A.O. & A.G.L., 2000; Tanji, 2002).

Salinizzazione primaria o naturale

La formazione di suoli salini avviene quando l'acqua scompare dal suolo essenzialmente per evaporazione e traspirazione, piuttosto che per percolazione (Sequi, 1989). La salinizzazione generalmente avviene in suoli di regioni con piogge scarse, alto deficit d'acqua e scarso drenaggio (M.M.A., 2002). Tanji (2002) riporta che la salinità presente nei suoli è soggetta a fenomeni ciclici di concentrazione, dovuta alle perdite evapotraspirative della superficie, e di diluizione, dovuta a piogge e scioglimento delle nevi (precipitazioni atmosferiche). Visto che i suoli delle regioni aride hanno un alto valore del rapporto evaporazione/precipitazione, tendono ad essere salini, mentre i suoli delle regioni umide hanno valori bassi del rapporto evaporazione/precipitazione e tendono a non essere salinizzati. La salinità primaria può derivare anche da fenomeni di risalita capillare dei sali (dovuta all'evaporazione) e da movimenti sotterranei dell'acqua (Pitman e Läuchli, 2002; B.A.P., 2004). Altra causa di salinizzazione è il trasporto di sali dall'oceano a causa del vento e/o della

pioggia. L'acqua piovana contiene da 6 a 50 mg/kg di sale. La quantità di sali presenti nei suoli varia anche in base al tipo di suolo (bassa per i suoli sabbiosi, alta per quelli argillosi).

La salinità è anche inversamente correlata alla media annua di piovosità (Munns, 1999). I cambiamenti climatici costituiscono un'altra causa della salinizzazione primaria (aumento delle temperature, diminuzione dell'umidità) che nelle regioni secche possono dare un contributo sostanziale alla desertificazione. In alcune zone aride i depositi di acqua salmastra, lo scarso drenaggio e falde superficiali possono anche rafforzare la salinizzazione e promuovere la formazione di orizzonti salini (o infiltrazioni saline). Tali infiltrazioni si formano quando l'acqua percolante incontra uno strato relativamente poco permeabile e roccioso. L'acqua inizia a scorrere verso le aree circostanti dove forma una piccola falda o rimane inclusa nel substrato. Senza un adeguato drenaggio, quest'acqua salina tende a risalire verso la superficie ed ad evaporare lasciando depositi salini.

Salinizzazione secondaria o antropogenica (indotta dalle attività antropiche)

Le fonti saline nella salinizzazione secondaria sono costituite dai sali presenti nell'acqua di irrigazione e dai sali residui di ammendanti del suolo e dell'acqua (gesso, zolfo elementare, acidi), di deiezioni animali (letame e acque di lavaggio), di fertilizzanti chimici, e di fanghiglie di scarto (Tanji, 2002).

La salinizzazione secondaria è causata da una cattiva gestione dell'irrigazione (insufficienti volumi d'irrigazione, scarsa efficienza d'irrigazione, utilizzazione di acqua salina o di qualità marginale in suoli particolarmente sensibili alla salinizzazione come suoli sodici, improprie pratiche agronomiche), da una scarsa livellazione del terreno e da pratiche che durante i periodi secchi aumentano i

movimenti di risalita capillare in presenza di falde superficiali (scorretto uso di macchine pesanti e seguente compattazione del suolo, eccessivo dilavamento con scarso drenaggio, uso di rotazione improprie ed abbinamenti colturali) (F.A.O. & A.G.L. 2000).

La salinizzazione secondaria risulta dalle attività umane che espongono suolo ed acqua a contaminazioni e degradazioni prima sconosciute, e di conseguenza cambiano il bilancio idrogeologico del suolo tra acqua apportata (irrigazioni e/o piogge) e acqua utilizzata dalle colture (traspirazione). La rottura dell'equilibrio dinamico fra acqua e sali circolanti ha seriamente colpito la produttività di biomassa (Munns, 1999; B.A.P., 2004). L'accantonamento delle piante con radici lunghe (ad esempio, piante erbacee perenni, alberi e arbusti) e la conseguente coltivazione su larga scala di specie annuali in monosuccessione aventi radici superficiali in bacini poco profondi, su pianure alluvionali è forse una delle principali cause di salinizzazione secondaria e degradazione del suolo (B.A.P., 2004). Prima dell'attività antropica, nei climi aridi e semi-aridi, c'era un bilanciamento tra l'acqua usata dalla vegetazione spontanea e le piogge che era sufficiente a mantenere la falda acquifera sotto la superficie del suolo. In un tale bilancio ecologico, la vegetazione era capace di utilizzare quasi tutta l'acqua piovana. L'eliminazione della vegetazione spontanea ad apparato radicale espanso e l'introduzione della pratica dell'irrigazione ha modificato questo bilancio. Di conseguenza il cumulo di piogge e acqua d'irrigazione forniscono più acqua di quella necessaria alle coltivazioni. L'eccesso d'acqua causa la risalita della falda e mobilita sali in precedenza accumulati nel sottosuolo, portandoli al livello delle radici. Le piante assorbono l'acqua dalla soluzione circolante provocando l'accumulo dei sali. La falda continua la sua risalita,

e quando raggiunge la superficie, l'acqua evapora lasciando sali sulla superficie. I sali mobilizzati possono anche muoversi lateralmente verso i corsi d'acqua, aumentandone la salinità (Munns, 1999).

In condizioni irrigue, la più comune tecnica per dilavare i sali dalla zona radicale richiede l'applicazione di acqua non salina in quantità maggiore alle necessità evapotraspirative (Rhoades, 1989). Tuttavia, in molte zone irrigate si pone il problema riguardante la risalita della falda dovuto ad eccessivi volumi d'acqua d'irrigazione in condizioni di drenaggio insufficiente (Munns, 1999; Pitman e Läuchli, 2002). La maggior parte dei progetti d'irrigazione su larga scala non prevedono sistemi di drenaggio, fino a che non sorgano problemi di ristagno idrico. La deviazione dell'acqua d'irrigazione dalle necessità superficiali e il percolamento profondo dell'acqua della stessa (spesso associata a sovra-irrigazione), conducono a saturazione del bacino sotterraneo. Dopo decenni di irrigazione, la zona sotterranea si satura e la falda si alza fino a raggiungere il franco di coltivazione, causando ristagno idrico. In condizioni di falda acquifera alta, ci sono risalite di sali dovute all'evaporazione e all'estrazione radicale dell'acqua (Tanji, 2002).

Teoricamente esistono molti fattori che comportano suoli salini ma l'irrigazione è certamente quello che guida gli altri nella formazione di molti milioni di suoli salini e/o alcalini in molte parti del mondo (Szabolcs, 1984).

1.3 Effetti della salinità sulla struttura del terreno agrario

La struttura del suolo riflette come le particelle inorganiche e organiche sono combinate tra loro in aggregati. La struttura del suolo ha un ruolo fondamentale, in quanto ne influenza la porosità, l'idrologia, la lavorabilità, la resistenza all'erosione e

la disponibilità di nutrienti (Sequi, 1989; Piccolo e Mbagwu, 1999). Si riconoscono differenti classi di struttura nei suoli. La struttura granulare è molto comune negli strati superficiali che normalmente mostrano un alto contenuto di sostanza organica e un'attività biologica intensa. Strutture a blocchi sono comuni nei sottosuoli ma si trova anche in suoli superficiali di prateria che hanno un alto contenuto in argilla. Le strutture lamellari di solito si ritrovano in sottosuoli che sono stati sottoposti a lisciviazione o compattamento ed hanno un colore molto pallido. Strutture prismatiche sono caratteristiche degli orizzonti B o sottosuoli di praterie. La struttura colonnare è molto compatta ed è molto sfavorevole per la crescita delle piante. Una struttura compatta ridurrà fortemente i movimenti di aria e di acqua nel suolo, influenzerà la penetrazione delle radici e la capacità della pianta di propagare le radici attraverso il suolo.

Una buona struttura del suolo può essere espressa dalla stabilità degli aggregati in acqua che è influenzata principalmente dalla qualità e quantità di sostanza organica (S.O.), dal tipo di argilla e dalla popolazione microbica (NRCS, 1996). Alcuni studi parlano di effetti positivi della sostanza organica in generale, mentre altri asseriscono che è la composizione della sostanza organica (specialmente le frazioni umificate) piuttosto che la sua quantità totale ad influenzare la stabilità degli aggregati (Piccolo e Mbagwu, 1999).

Uno dei processi naturali più importanti che riguardano la stabilità strutturale dei suoli è l'intensità dei cicli di inumidimento-disseccamento ai quale sono naturalmente esposti. Generalmente, questo ciclo determina una riduzione nel diametro degli aggregati (in presenza di illite e smectite) o una capacità di riaggregazione che si traduce in un aumento nel diametro degli aggregati (in caso di predominanza di

caolinite, specialmente con calcare) (Piccolo *et al.*, 1997a). Gli effetti di questo ciclo variarono: in suoli scarsamente strutturati, come quelli con zolle massive o superficie compattata, i cicli inumidimento-disseccamento possono facilitare la riduzione del compattamento (Piccolo *et al.*, 1997a), mentre in suoli agricoli naturalmente ben aggregati, cicli di inumidimento-disseccamento possono produrre un collasso strutturale in quanto causano la formazione di micro-aggregati facilmente erodibili. La produzione di questi piccoli aggregati è dovuta a una riduzione di dimensione degli aggregati più grandi a diametri più piccoli come risultato delle fratture formatesi durante le contrazioni e le espansioni (Piccolo *et al.*, 1997a; Spaccini. *et al.*, 2002).

Naturalmente, solamente la frazione umica della sostanza organica ha un ruolo a lungo termine nella formazione e stabilizzazione di aggregati di suolo, in quanto provoca la formazione di ponti tra i polimeri organici e le particelle inorganiche attraverso cationi polivalenti (FAO, 2001), contribuendo così all'aumento della porosità, alla ritenzione di acqua e aiutando i movimenti della fauna, dell'aria e dell'acqua. Questi aggregati, come detto, sono anche protetti dalla biodegradazione grazie ad una protezione idrofobica (Piccolo, 1996; Parè *et al.*, 1999; Piccolo e Mbagwu, 1999). La frazione umica, non è composta tanto da grossi polimeri, ma da molecole relativamente piccole legata da una serie di forze idrofobiche e ponti idrogeno, infatti attualmente viene considerata una struttura sovramolecolare con apparente alto peso molecolare (Piccolo, 2002). Presenta sulla propria superficie numerosi gruppi funzionali, che conferiscono al suolo una maggiore CSC e consentono la formazione di complessi con le argille, mediati da cationi polivalenti (soprattutto Ca^{2+}), o con altre molecole idrofile derivate dalla degradazione di

materia organica fresca (Fagnano e Quaglietta, 2003). Questi legami orientano verso l'interno delle particelle i gruppi funzionali carbossilici e fenolici, lasciando le componenti idrofobiche (alifatiche e aromatiche) orientate verso la superficie esterna delle particelle in modo da formare un rivestimento con alta tensione superficiale che riduce l'infiltrazione di acqua all'interno delle particelle (Piccolo *et al.*, 1997b).

La salinità può generare flocculazione poiché porta le particelle fini a legarsi insieme formando aggregati. Elevate concentrazioni di sali nella soluzione circolante del suolo promuovono aggregazioni delle particelle argillose e danno luogo a suoli maggiormente permeabili. Di conseguenza, i suoli sono meno portati a divenire o rimanere intrisi d'acqua dopo piogge rispetto a suoli non flocculati (Warrence, 2002). Questa spinta all'aggregazione è benefica nei confronti dell'aerazione del suolo, penetrazione e crescita delle radici. La flocculazione è rafforzata generalmente quando la salinità della soluzione del suolo è approssimativamente superiore a 1.5 dS/m o la salinità dell'acqua di irrigazione è maggior si 0.5 dS/m. Mentre un crescente livello di salinità nella soluzione del suolo ha effetti positivi nell'accrescere o stabilizzare l'aggregazione del suolo, un alto livello di salinità ha un effetto negativo e potenzialmente letale sulle piante (Walinga *et al.*, 1995; Warrence *et al.*, 2002).

Il sodio ha un effetto opposto sul suolo rispetto ad una generale salinizzazione. Mentre elevate concentrazioni di elettroliti possono favorire la flocculazione, la saturazione sodica può causare la dispersione delle particelle. A causa della sua grandezza relativa, della carica elettrica singola e dello stato di idratazione, il sodio adsorbito tende a produrre la separazione delle particelle del suolo poiché le forze repulsive fra le molecole superano quelle attrattive (Warrence, 2002). Ciò può

eventualmente aumentare il numero dei micropori a scapito dei macropori (Fagnano e Quaglietta Chiarandà, 2003). Un secondo processo piuttosto reversibile associato alla saturazione di sodio è il rigonfiamento degli aggregati e degli strati (Warrence, 2002). Questa combinazione di condizioni porta al disgregamento della struttura del suolo (Rhoades, 1991). È anche importante ricordare che le argille sono più disposte alla dispersione rispetto al limo o alle sabbie. Inoltre, il sodio riduce la permeabilità soprattutto dei suoli in cui predomina la montmorillonite (Warrence, 2002; Fagnano e Quaglietta Chiarandà, 2003). In fine, la dispersione indotta da sodio riduce la permeabilità e genera delle croste superficiali (Warrence, 2002).

Una bassa permeabilità diminuisce la mobilità dell'aria (ossigeno e anidride carbonica) e dell'acqua attraverso il suolo (Seeling, 2000). Uno strato denso, chiamato crosta argillosa, si forma alla superficie o nelle sue vicinanze, ed è una barriera per le radici. Ne risulta che la maggior parte delle radici è costretta nello strato di suolo al di sopra di tale strato. Poiché i movimenti dell'acqua, dei nutrienti e dei gas sono troppo lenti attraverso la crosta argillosa (Seeling, 2000) risultano ridotte l'infiltrazione e la conduttività idraulica del suolo. Quando aumenta la ESP, la quota di infiltrazione è ridotta e conseguentemente aumenta la perdita d'acqua (Warrence, 2002). La conduttività idraulica è il rapporto in base al quale l'acqua si muove attraverso il suolo. Quando il suolo contiene grandi concentrazioni di sodio, la perdita di struttura riduce la conduttività idraulica. Il ristagno idrico e il rigonfiamento del suolo spesso comportano condizione anaerobiche. Tali condizioni riducono o impediscono la crescita delle piante, diminuiscono la percentuale di decomposizione della materia organica, che dipende da microrganismi aerobi che utilizzano i residui vegetali. Questa diminuzione della decomposizione porta alla

formazione di suoli ricchi in materia organica, di colore nero o marrone scuro. Questi suoli sono denominati suoli alcalini neri (Warrence, 2002).

L'aggiunta di gesso (sia nel suolo che nell'acqua) può spesso aiutare in modo apprezzabile a evitare o attenuare i problemi connessi alla ridotta capacità infiltrativa (Ayers, 1984; Rhoades, 1991; Franzen, 2003, Fagnano e Quaglietta Chiarandà, 2003; F.A.O.&A.G.L., 2002c).

Al crescere della salinità del suolo aumenta il potenziale osmotico della soluzione circolante. Di conseguenza, a seguito della salinizzazione le piante devono spendere più energia per assorbire l'acqua dal suolo (Panero, 1987). A valori di potenziale osmotico prossimi a -14 atm le piante non possono più assorbire acqua in quanto non riescono ad abbassare ulteriormente il loro potenziale totale (Panero, 1987). I sali riducono l'acqua disponibile per le piante. La capacità di campo e la saturazione sono proprietà della matrice del suolo non modificabili dalla salinità, mentre il punto di appassimento aumenta all'aumentare della salinità. Quindi, l'acqua disponibile per le piante diminuisce (Panero, 1987; Saxton, 2003). La diminuzione dell'acqua disponibile può seriamente compromettere la normale crescita e sviluppo della pianta (Warrence, 2002).

1.4 Misura della salinità dell'acqua e del suolo

Dal momento che le piante assorbono la maggior parte dei sali tramite le radici è importante misurare e classificare la concentrazione dei sali nel suolo. La misura della salinità dell'acqua si esegue con relativa semplicità, mentre la misura della salinità del suolo è complicata a causa della forte influenza dell'umidità contenuta nello stesso. La salinità è una proprietà dinamica della zona radicale delle piante

poiché dipende da: 1) concentrazione della soluzione del suolo dovuta all'assorbimento radicale e all'evaporazione dalla superficie del suolo e, 2) apporto di acqua al suolo, dovuto a pioggia, scioglimento delle nevi e/o irrigazione. Inoltre, i sali dissociati sono molto mobili lungo il profilo del suolo grazie alla diffusione chimica (mobilità ionica) e al trasporto convettivo e dispersivo dell'acqua stessa. Pertanto, le radici delle piante sono esposte a cambiamenti spaziali e temporali della salinità del suolo, che rende più difficile l'adattamento (Tanji, 2002).

Il metodo più comune per misurare la salinità del suolo è la determinazione della sua conducibilità elettrica (EC) utilizzando un estratto di pasta satura (suolo mescolato ad acqua distillata, ECe). L'unità di misura del S.I. per la conducibilità elettrica (EC) è il dS/m. Munns (1999) sostiene che questo metodo è laborioso poiché occorre preparare la pasta satura ed estrarre l'acqua con una potente pompa a sottovuoto. Inoltre con suoli molto sabbiosi non è facile ottenere la pasta satura. Un metodo più conveniente ed universale è l'estratto 1:5. Il suolo viene prima essiccato e setacciato, quindi si mescolano 5 g di acqua deionizzata ad 1 g di suolo. La conducibilità elettrica della soluzione acquosa viene poi misurata con un conduttivimetro. La EC del suolo può essere calcolata se il suo contenuto in acqua è noto al momento del campionamento. Alternativamente la misura può essere relazionata alla capacità di campo del suolo usando fattori di conversione (Munns, 1999). Altri autori (Tanji, 2002) hanno riportato che è possibile misurare la conducibilità elettrica in uno strato del suolo saturato da un quantitativo d'acqua noto (ECe), o da soluzione di suolo estratto sotto vuoto usando tazze di suzione immerse nel suolo in condizioni di umidità (EC_{sw}). In alternativa è possibile utilizzare la tecnica in situ (EC_a per l'apparente EC) come la fila di elettrodi di Wenner, le sonde

da 4 elettrodi per la salinità, o la deviazione elettromagnetica (sonda EM-38). Anche il Time Domain Reflectometry (TDR) è usato per misurare la salinità (Tanji, 2002).

Un altro parametro importante per caratterizzare un suolo salino è la percentuale di sodio scambiabile (ESP) che si definisce come la proporzione fra il sodio scambiabile assorbito (che è legato all'argilla) e la capacità di scambio cationico del suolo (Läuchli e Epstein, 1990; Rhoades *et al.*, 1991):

$$ESP = \frac{\text{Sodio scambiabile (meq/100g)}}{\text{CSC (meq/100g)}} \times 100$$

Oltre ad essere lunga e laboriosa, la determinazione diretta della ESP è soggetta ad errori. È quindi raccomandato calcolarla con la relazione empirica proposta dal Sequi, 1989:

$$ESP = \frac{100(-0,0126 + 0,01475 SAR)}{1 + (-0,0126 + 0,014775 SAR)}$$

Dove:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

All'aumentare del valore ESP, diminuisce la qualità del suolo e si riduce la crescita delle piante. Strettamente legata alla ESP, il rapporto di assorbimento del sodio (SAR) misura la preponderanza relativa del sodio nei confronti di calcio e magnesio, elementi specifici che moderano gli effetti negati del sodio (SAR e ESP sono considerate interscambiabili) (Rhoades *et al.*; 1991; B.A.P., 2004). Il test del pH, che determina l'acidità o l'alcalinità, può essere usato come indicatore della capacità del suolo di fornire nutrienti alla pianta. L'alcalinità (alto pH) tende a

ridurre la disponibilità di micro-elementi essenziali (ad esempio ferro, magnesio, zinco, rame e cobalto) (Violante, 1996).

La misura quantitativa della salinità dell'acqua può essere effettuata con metodi analitici o con metodi conduttivimetrici. Nel primo caso la salinità si esprime come residuo salino fisso o residuo secco o durezza totale o contenuto in sali solubili e rappresenta il contenuto totale di sali disciolti nell'unità di volume in g/l o come concentrazione di sali minerali in ‰. L'acqua viene definita salmastra quando ha un residuo secco pari o superiore al 2 ‰ o 2000 ppm. Un indice analitico più completo è rappresentato dai meq/l. Nel secondo caso la salinità si esprime con la conducibilità elettrica (EC) di una soluzione che è direttamente proporzionale al suo contenuto in sali. Un'acqua viene definita salmastra quando l'EC è pari o supera i 3,0 dS/m a 25 °C.

1.5 Classificazione dei suoli salini.

I suoli salinizzati sono comunemente classificati salini, sodici, o come una combinazione dei due (Follett, 1981; Seeling, 2000).

I suoli salini sono per lo più sciolti e sabbiosi con grandi quote di superficie evaporante e percolazione profonda dovuta alla loro tessitura (fine o grossolana) (B.A.P., 2004); generalmente contengono significative quantità di sali solubili in acqua (cloruro di sodio, solfati di calcio e magnesio), EC superiore a 4 dS/m, ESP inferiore al 15%, e pH < 8.5 (Seeling, 2000; Singh e Chatrath, 2001). Questi suoli hanno generalmente una buona struttura, e la loro permeabilità all'acqua e le loro caratteristiche strutturali sono come quelle dei suoli non salini (Follett *et al.*, 1981). Qadir e Oster (2004) hanno riportato che l'eccesso di salinità non ha impatto

negativo sulla struttura del suolo e sulle proprietà fisiche ed idrauliche. Invece, la salinità può avere favorevoli effetti sulla stabilità della struttura del suolo (Qadir e Oster, 2004). I suoli salini sono quindi i più facili da bonificare (Follet *et al.*, 1981) ed hanno un valore limitato per l'agricoltura solo se i sali non possono essere rimossi (F.A.O.&A.G.L., 2000c).

I suoli sodici sono generalmente densi e costipati con scarsa permeabilità all'acqua, all'aria e ai gas. Questi suoli sono caratterizzati da un basso contenuto di sali solubili ($EC < 4$ dS/m), una struttura del suolo ridotta ($ESP > 15\%$) e reazione alcalina ($pH > 8.5$). (Munns 1999; Follett, 1981; Seeling, 2000; Singh e Chatrath, 2001). A causa della diminuita capacità di trattenere l'acqua risultano generalmente sfavorevoli alla crescita delle piante (Tanji, 2002). La sodicità è di solito associata con alti concentrazioni di carbonati e bicarbonati di sodio insolubili, che si legano alle particelle argillose e/o organiche, causando il rigonfiamento della matrice del suolo, e formando croste compatte nei pressi della superficie. I suoli sodici generalmente diventano improduttivi e difficili da bonificare (B.A.P., 2004).

I suoli salini-sodici, prevalenti in regioni aride e semi aride, spesso rappresentano uno strato di transizione fra salinità e sodicità con un $EC > 4$ dS/m, $ESP > 15\%$ e $pH < 8.5$ (Follet, 1981; Seeling, 2000).

Tali suoli risultano spesso non ammendabili col semplice dilavamento, specialmente quando la sodicità tende a prevalere negli strati superiori del profilo e necessitano di appropriate lavorazioni e ammendanti calcici (B.A.P., 2004).

La tabella 1 riassume le fondamentali caratteristiche dei suoli salinizzati.

Tabella 1- Classificazione dei suoli salinizzati e loro proprietà (B.A.P., 2004).

Suoli	EC (dS/m)	ESP (%)	SAR	pH
Salino	>4	<15	<12	<8.5
Sodico	<4	>15	>12	>8.5
Salino-Sodico	>4	>15	>12	<8.5

L'acqua è generalmente considerata non-salina per valori inferiori a 0.7 dS/m, mediamente salina fra 0.7-2.0 dS/m e salina (a vari gradi) sopra i 2 dS/m; l'acqua piovana o distillata ha una EC di 0.02-0.05 dS/m mentre l'acqua marina, all'altro estremo, si attesta fra 45-60 dS/m (Tab. 2). La salinità dell'acqua è facilmente misurabile e classificabile secondo il metodo TDS (Rhoades *et al.*, 1992).

Tabella 2 – Classificazione della salinità dell'acqua (Rhoades *et al.*, 1992)

Acqua	EC (dS/m)	TDS (mg/l)	Tipo d'acqua	Utilizzo
Pura	<0.7	<500	da bere e per irrigazione	potabile, tutte le colture
Lievemente salata	0.7-2.0	500 - 1500	drenaggio primario e acqua del suolo	Bestiame, molte colture
Moderatamente salata	2-10	1500-7000	drenaggio secondario e	colture tolleranti il sale

			acqua del suolo	
Molto salata	10-45	7000-35000	acqua del suolo molto salata	Molte alofite
Acqua di mare	45-60	35000-45000	acqua di mare	Poche alofite, alghe

La concentrazione dei sali solubili nel suolo e nell'acqua fornisce valori assoluti che possono essere utili per comparare la crescita e la potenziale produttività delle differenti colture. Comunque, questi valori non forniscono specifiche indicazioni sui meccanismi fisiologici di fondo che conferiscono diversi gradi di tolleranza.

1.6 Piante e stress salino.

Nelle glicofite, categoria a cui appartengono la maggior parte delle piante coltivate, l'effetto più evidente della salinità è la riduzione dei processi di crescita.

Un aumento dei sali nella soluzione circolante comporta un abbassamento del suo potenziale osmotico, il che si traduce in una maggiore difficoltà delle piante ad assorbire acqua (effetto osmotico), con conseguente riduzione del turgore cellulare, e rallentamento dei processi di crescita (Kafkafi, 1991; Hsiao, 1993; Ruggiero *et al.*, 1994), inoltre se una eccessiva quantità di sali entra nel flusso traspiratorio della pianta, ci saranno danni alle cellule (effetto fitotossico). Lo stress idrico e salino agirebbero pertanto in modo simile nel limitare la traspirazione e la crescita.(Munns, 2002a).

L'effetto dei sali sulle piante è un risultato combinato fra diversi processi di adattamento morfologici, fisiologici e biochimici allo stress.

La più comune risposta della pianta allo stress salino è una diminuzione generale di crescita e produzione (Maas, 1996). Elevati livelli di sali nell'umidità del suolo (>4 dS/m) inibiscono la germinazione e la crescita della maggior parte delle colture commerciali, riducono significativamente la produzione di biomassa, la resa economica e la complessiva sopravvivenza della pianta (Maas e Grattan, 1999).

Nei suoli salinizzati, la riduzione della crescita e della produzione sono i risultati della combinazione dei problemi nutrizionali (sbilancio ionico o deficienza di nutrienti) e delle compromesse proprietà fisiche del suolo (diminuita permeabilità all'acqua e all'aria) (De Pascale e Barbieri, 2000). Munns (1999) riporta che la diminuzione della crescita in condizioni di salinità dipende da 1) effetti del sale all'esterno delle radici, e 2) effetti del sale all'interno della pianta.

Il primo effetto della salinizzazione avviene all'esterno delle radici (potenziale osmotico) e consiste nella riduzione del potenziale dell'acqua nella soluzione del suolo riducendo l'assorbimento radicale (Fagnano e Quaglietta Chiarandà, 2003). In stato di avanzata salinizzazione, lo stress osmotico causa disidratazione e di conseguenza, riduce la crescita di foglie e radici (Munns, 1999, De Pascale *et al.*, 2003(a); Maggio *et al.*, 2003). Dal momento che l'acqua si muove secondo un gradiente di potenziale (da alto potenziale (poco sale) verso un basso potenziale (molto sale)), quando la soluzione del suolo ha un potenziale osmotico inferiore a quello delle cellule, la pianta non può estrarre acqua dal suolo. Le piante, quindi sono incapaci di rimpiazzare l'acqua persa attraverso la traspirazione e avvizziscono (Seeling, 2000). Questo effetto è simile a quello causato da una mancanza d'acqua (siccità) (Seeling, 2000; Muuns 2002(a), De Pascale *et al.*, 2003(a), 2003(b)). Pertanto, i sintomi di salinità eccessiva sono simili a quelli associati a mancanza

d'acqua, inclusi disseccamento delle radici (disidratazione cellulare), aumento della succulenza, crescita stentata, foglie disseccate e necrotiche (B.A.P., 2004).

Al crescere della salinità del suolo e quindi in presenza della riduzione del potenziale osmotico della soluzione circolante le piante reagiscono abbassando il loro potenziale totale (De Pascale *et al.*, 1995, 1997 and 2003 (a); Fagnano e Quaglietta Chiarandà, 2003). L'associata diminuzione del potenziale di turgore riduce la conduttanza stomatica, che determina una ridotta traspirazione e un aumento della temperatura delle foglie. La chiusura degli stomi indotta dallo stress, diminuisce anche il flusso di CO₂ nelle foglie limitando l'attività fotosintetica (Lauteri *et al.*, 1997; De Pascale *et al.*, 2003(a)).

L'eccesso di sali fuori e dentro la pianta può causare specifiche carenze di nutrienti e accumulo di ioni tossici. La tossicità può conseguire dall'incapacità delle piante di escludere gli ioni dannosi al di fuori delle radici e/o compartimentalizzarli all'interno dei vacuoli (Panero 1987, Maggio *et al.*, 2002(b)). Le piante possono controllare gli ioni tossici accumulandoli nei vacuoli e/o mobilizzandoli nelle foglie vecchie destinate a cadere (Fagnano e Quaglietta Chiarandà, 2003).

A tal proposito, Munns (1999) riporta che la velocità con la quale piante sottoposte a stress salino producono nuove foglie dipende dal potenziale idrico della soluzione del suolo, così come in piante sottoposte a stress idrico dipende dal potenziale matriciale. Le piante accumulano i sali nei tessuti più vecchi, per evitare la morte delle foglie giovani. I tessuti meristemati sono nutriti dal floema, dal quale i sali sono esclusi. La rapida distensione cellulare rende possibile l'immagazzinamento dei sali provenienti dallo xilema all'interno dei loro vacuoli in crescita. Così, il sale assorbito dalla pianta non inibisce direttamente la crescita delle nuove foglie ma accelera la senescenza delle

foglie vecchie. Il continuo trasporto di ioni nelle foglie traspiranti a lungo andare comporta una concentrazione molto alta sia di Na^+ che di Cl^- , che conduce alla morte della foglia. La percentuale di foglie morte è fondamentale per la sopravvivenza della pianta. Se nuove foglie sono continuamente prodotte in quantità superiore a quelle delle foglie senescenti, la pianta riesce a fotosintetizzare abbastanza per produrre fiori e semi. In caso contrario, la pianta non potrà giungere alla piena produzione. La riduzione della crescita consta di due fasi. Nella prima fase, la riduzione è apparente ed è dovuta alla presenza di ioni all'esterno delle radici, legata ad un effetto osmotico. La seconda fase, invece, conduce a un danno dei tessuti ed è geneticamente determinata. Il tasso al quale le vecchie foglie muoiono dipende dal tasso con il quale gli ioni vengono accumulati. Il controllo avviene a livello della corteccia radicale, nei tessuti xilematici, e nel punto di contatto fra questi due siti. Questi tre processi servono a ridurre la quantità di ioni trasportati nella parte superiore della pianta. Il controllo a livello fogliare avviene tramite l'esclusione dei sali presenti nella linfa floematica (Passiura e Munns, 2000). In base a questi risultati l'iniziale riduzione della crescita è dovuta all'effetto osmotico della concentrazione del sale nella zona delle radici, e ciò che distingue una specie sensibile da una tollerante alla salinità è la capacità di evitare che i sali raggiungano livelli tossici nelle foglie traspiranti (Munns, 1999).

Riguardo alle carenze nutritive, esse sono dovute a competizioni più o meno specifiche fra ioni tossici e macronutrienti vitali (come fosforo e azoto). Di conseguenza le piante salinizzate soffrono di malnutrizione. Una salinità del suolo alta riduce i processi biologici essenziali (limitando flora e fauna) e limita o blocca l'assorbimento di importanti nutrienti dalla materia organica limitandone la loro disponibilità (B.A.P., 2004). La salinità con prevalenza dello ione Na^+ non solo riduce la disponibilità del Ca^+

ma riduce il trasporto e la sua mobilità verso le parti giovani della pianta, danneggiando la qualità sia degli organi vegetativi che di quelli riproduttivi. La salinità può direttamente ridurre l'assunzione di nutrienti dal momento che Na^+ e Cl^- riducono l'assorbimento K^+ e NO_3^- , rispettivamente. (Lazof e Bernstein, 1999; De Pascale *et al.*, 2001, 2003(a), 2003(b), 2003(c); Fagnano e Quaglietta Chiarandà, 2003).

Nel pomodoro, diminuzioni di P, K, Mg e nitrati sono stati generalmente osservati all'aumentare della salinità (De Pascale *et al.*, 2001, 2003(c)). In altre specie, invece, non ci sono variazioni nel livello di K^+ dopo stress salino (Sifola *et al.*, 1995) mentre è stato osservato un aumento del livello di K^+ dopo uno stress idrico (Fagnano e Quaglietta Chiarandà, 2003). De Pascale *et al.*, 2003(a) hanno constatato che alte concentrazioni di Na^+ e Cl^- nell'acqua di irrigazione non alterano significativamente il livello di K^+ nelle foglie del peperone. Invece, uno stress da carenza idrica induce nelle piante livelli di K^+ più alti, rispetto al testimone irrigato. Quindi questi risultati indicano che gli ioni Na e K^+ giocano ruoli simili nel mantenimento del turgore cellulare sotto stress rispettivamente salino ed idrico. L'alcalinità del suolo diminuisce notevolmente la solubilità dello zinco e del ferro e ne limita la disponibilità per la pianta.

Per gli altri macro e microelementi è difficile valutare le variazioni dell'assorbimento dovute allo stress salino, poiché ci sono numerose prove in contraddizione fra loro basate sulle innumerevoli interazioni nutrienti – salinità.

Lo stress salino può provocare modifiche morfologiche che includono risposte di adattamento (ad esempio incremento dello spessore della foglia) e ferite apparenti (ad esempio bruciature delle foglie). Le ampiezze degli effetti inibitori o avversi possono essere conosciute soltanto effettuando comparazioni critiche con piante testimone che crescono in condizioni comparabili in suoli non salini. La salinità può inibire

direttamente o indirettamente la divisione e la distensione cellulare (Singh e Chatrath, 2001). L'arresto rapido di crescita dovuta alla salinità ha origine nei tessuti giovani, non in quelli maturi fotosintetizzanti. Alla fine, foglie e rami delle piante salinizzate appaiono stentati (Singh e Chatrath, 2001). La tossicità del sodio causa necrosi che appaiono sul bordo delle foglie (Fagnano e Quaglietta Chiarandà, 2003) e la sua accumulazione comporta disidratazione, ridotto turgore e morte della cellula. Il sodio può anche ridurre o attivare la sintesi di ormoni. In più, l'integrità della membrana cellulare può essere compromessa dall'antagonismo verso il calcio del sodio, con conseguente impatto negativo sull'assorbimento di acqua e nutrienti (Warrence, 2002). La tossicità del cloro si manifesta in aree necrotiche che partono dall'apice fogliare e si espandono verso il picciolo/ramo (Fagnano e Quaglietta Chiarandà, 2003). Talvolta possono apparire danni da boro.

La salinità generalmente accresce la percentuale dei materia secca (De Pascale *et al.*, 2001; 2003b; 2003c). In più, causa una riduzione della densità delle radici (De Pascale *et al.*, 1995; 2003a), un aumento del rapporto radici/chiuma (Singh e Chatrath, 2001, De Pascale *et al.*, 1998, 2003a), una riduzione della crescita dell'area e della taglia della foglia (De Pascale *et al.*, 2003a; 2003b), riduce il peso, taglia e numero dei frutti (De Pascale *et al.*, 1995) e abbatta la produzione vendibile (Sifola *et al.*, 1995; De Pascale e Barbieri, 2000; De Pascale *et al.*, 2003(c)). La salinità inoltre è causa generalmente dello scadimento qualitativo dei prodotti ottenuti (De Pascale e Barbieri, 1995), ma anche in tal caso si possono registrare delle eccezioni, con miglioramento della qualità (Petersen, 1998), come nel caso del pomodoro dove si attiva la sintesi/accumulo di alcuni composti/elementi che definiscono la qualità delle bacche quali, acido citrico, zuccheri, e potassio (Mitchell *et al.*, 1991). Inoltre, poiché lo stress

stimola nelle piante la produzione di molecole con attività antiossidativa (Hasegawa *et al.*, 2000), l'applicazione di moderati stress potrebbe indurre incrementi del contenuto di carotenoidi con un conseguente miglioramento del valore nutrizionale delle bacche di pomodoro. Petersen *et al.*, (1998) hanno infatti osservato un maggiore contenuto di carotenoidi in bacche di piante di pomodoro irrigate con acque saline. Gli stessi autori hanno, tuttavia, attribuito l'incremento ad un effetto *concentrazione* dovuto al ridotto contenuto idrico. De Pascale *et al.* (2001; 2003a), hanno verificato che la quantità di carotenoidi totali nei frutti di piante sottoposte a moderato stress salino (4,4 dS/m) è maggiore di quello attribuibile al solo effetto concentrazione.

1.7 Valutazione della tolleranza alla salinità

La capacità di sopravvivenza in substrati salini è un criterio di valutazione ampiamente utilizzato negli studi di ecologia e di fisiologia dello stress, mentre è di uso limitato in agricoltura poiché spesso ha scarsa relazione con le riduzioni di resa entro limiti economicamente accettabili. Se vengono presi in considerazione l'accrescimento assoluto o la produzione assoluta delle piante si ottiene certamente la stima diretta del reddito in termini economici in certe condizioni di salinità; tuttavia è necessario tenere conto delle influenze di altri fattori come il tipo di clima, la fertilità, il regime idrico del suolo e le avversità parassitarie; inoltre la risposta in termini di resa assoluta non consente confronti tra le colture in quanto le rese di specie diverse possono essere espresse in termini non sempre comparabili (Maas, 1986).

Nello sforzo di migliorare la tolleranza alla salinità è importante stabilire in modo univoco come misurare tale capacità. Un criterio particolarmente utilizzato è

l'accrescimento relativo o la produzione relativa in suoli salini rispetto a suoli non salini secondo il modello sviluppato da Maas e Hoffman (1977).

Utilizzando criteri ben stabiliti, è possibile esprimere la relazione tra la salinità dell'acqua (o del suolo) e resa relativa secondo due parametri : 1) la soglia di salinità (a), al di sotto del quale la resa è fissata al 100% e 2) la pendenza (b) che lega linearmente i decrementi di resa con gli incrementi di salinità al di sopra del valore soglia Maas e Hoffman (1977). Detto ciò la resa relativa (Y), può esser calcolata come segue:

$$Y_r = 100 - b (EC - a)$$

Dove Y_r è la resa relativa in %, b è il fattore di pendenza, (diminuzione % di resa per aumento unitario di salinità al di sopra del valore soglia), EC = la conducibilità (dell'acqua o dell'estratto saturo del suolo) in dS/m, a = la soglia di salinità (E_c massima oltre la quale si assiste a un decremento della produzione. Sebbene sia largamente adoperato, esso è fortemente condizionato da variabili ambientali (Shannon, 1997; Dalton *et al.*, 2001; Maggio *et al.*, 2002a). Esistono diversi studi che hanno tentato di classificare le piante in base al loro grado di tolleranza alla salinità. Sia b che a sono parametri specifici per ciascuna coltura e nell'ambito delle colture anche delle varietà. Le colture tolleranti alla salinità sono caratterizzate da elevati valori di a e bassi di b , il contrario accade nelle colture sensibili. Tali valori portano a suddividere le piante coltivate in quattro categorie: piante sensibili, moderatamente sensibili, moderatamente tolleranti e tolleranti.

Un indice alternativo per stabilire la tolleranza al sale delle piante è stato proposto da Dalton *et al.*, (2001), ed è basato sul rapporto cloro accumulato nella parte epigea vs. biomassa totale epigea (Dalton *et al.*, 2001). Questo indice, chiamato Indice di Stress

Salino (SSI), è una misurazione della tolleranza indipendente dalle variabili ambientali (Maggio *et al.*, 2002a).

Diversi parametri possono influenzare la tolleranza alla salinità delle piante. Termaat e Munns (1985) identificarono effetti a lungo e a breve termine della salinizzazione. Gli effetti a breve termine compaiono nel giro di ore o pochi giorni e comportano rapido arresto della crescita, probabilmente come risposta della pianta alla carenza di acqua. Gli effetti a lungo termine si manifestano dopo settimane e si concretizzano in una alta concentrazione di sale nelle foglie pienamente espanse con riduzione dell'attività fotosintetica (Maas, 1996). Il suolo, i fattori ambientali e lo stadio fenologico della pianta influenzano la tolleranza delle colture (Mass, 1996; Shannon, 1997). Come sopradetto, i fattori del suolo (distribuzione del sale lungo il profilo, lisciviazione e drenaggio, il contenuto d'acqua del suolo, l'irrigazione e il tipo di irrigazione) e le condizioni climatiche (temperatura, umidità, vento, siccità e ozono) possono influenzare l'accumulo dei sali nelle zona delle radici e alla fine la produttività delle colture. Lo stadio di crescita gioca un ruolo importante durante l'adattamento, dal momento che uno stadio può essere più o meno sensibile alla salinità rispetto ad un altro. Molte specie sono tolleranti durante la germinazione, ma le plantule sono suscettibili alle ferite durante l'emergenza dal suolo e durante lo sviluppo degli stadi giovanili (Maas, 1996, Rhoades, 1990). Generalmente le piante divengono via via più tolleranti durante l'ultima fase della crescita (Maas, 1996) ma ci sono eccezioni (Maas, 1996; Shannon, 1997).

È noto che la tolleranza al sale non è conferita da un singolo o da pochi geni. È stato dimostrato che per adattarsi alla salinizzazione ci sono almeno tre fondamentali meccanismi fisiologici che si attivano, i quali comportano l'*omeostasi ionica* (con la

sintesi e l'attivazione di trasportatori ionici), l'*omeostasi idrica* (regolazione delle funzioni delle acquaporine) e *neutralizzazione dei radicali liberi* (sintesi di molecole con proprietà antiossidanti). Questi meccanismi sono generalmente sotto il controllo degli ormoni da stress come l'ABA, molecole regolatrici e flussi metabolici di componenti associati allo stress (Amzallag, 2002; Reinhold e Guy, 2002). L'omeostasi è una delle più caratteristiche risposte allo stress da sale (Zhu, 2003). Per prevenire la concentrazione nel tempo di sale nel germogli, le radici bloccano il 98% dei sali in soluzione, permettendo il trasporto del 2% ai germogli tramite lo xilema (Munns, 1999). Così, le piante che riescono a limitare l'assorbimento di ioni tossici e a mantenere un normale grado di nutrienti resistono meglio al sale rispetto a quelle che non bloccano l'accumulo di ioni e non riescono a bilanciare i nutrienti (Shannon, 1997).

L'abilità di ridurre l'assorbimento di ioni nelle specie tolleranti al sale è una delle differenze principali rispetto alle piante sensibili (Shannon, 1997; Munns, 1999). Comunque, sia in molte glicofite ed alofite, il sale viene accumulato maggiormente nei vacuoli, nei comparti interstiziali, foglie o rami senescenti (Shannon, 1997). Il rapporto di accumulo del sale nelle foglie rispetto alla velocità di crescita della foglia sembra essere un altro importante meccanismo di controllo della tossicità ionica (Munns, 1999). L'abilità delle piante a compartimentalizzare i sali nei vacuoli delle cellule del mesofillo è un'ulteriore importante strategia per minimizzare o abbattere gli effetti tossici di alte concentrazioni di sali. Il controllo del trasporto di sali verso e all'interno della pianta può avvenire in tre punti della pianta stessa. Il primo è alla radice corticale, il secondo consiste nel caricamento dello xilema, il terzo è la traslocazione dallo xilema alla parte superiore delle radici. In questi tre loci il trasporto di ioni può esser ridotto o controllato. Alcuni controlli nei germogli avvengono attraverso l'esclusione del sale dal

succo floematico che scorre verso le regioni meristematiche del getto. Un meccanismo aggiuntivo di alcune alofite è l'accumulo di ioni tossici in ghiandole specializzate. (Munns, 1999).

La risposta della pianta alla diminuzione del potenziale idrico esterno è un decremento del potenziale osmotico nella pianta attraverso un incremento dei soluti. L'accumulo attivo di soluti inorganici prima e molecole organiche poi, permettono alla pianta di mantenere un alto turgore. In genere, uno scarso OA comporta perdita di turgore e chiusura stomatica, presto seguita da riduzione di scambi di gas e di fotosintesi (Shannon, 1997). L'aggiustamento osmotico in piante esposte a stress salino o idrico è uno dei meccanismi cardine per contrastare lo stress salino (De Pascale *et al.*, 2003(a), 2003(b)). Zuccheri, prolina, glicinbetaina ed altri soluti organici contribuiscono a preservare un bilancio osmotico e l'attività enzimatica in presenza di ioni tossici (Shannon, 1997).

2. Introduzione

Le colture ortive sono molto diffuse in regioni in cui la salinità dell'acqua può rappresentare un serio problema per le modifiche in senso negativo del complesso dei rapporti terreno-acqua-coltura nel lungo periodo. Le informazioni disponibili sugli effetti e i danni da salinità sulle piante molto spesso derivano da ricerche condotte in laboratorio o in camere di crescita poche in condizioni naturali e in condizioni di pieno campo, non considerando quindi l'interazione con il terreno e il clima. Nella realtà agronomica il terreno interagisce con gli ioni della soluzione circolante in misura variabile con la sua capacità di scambio: le alterazioni indotte nel lungo periodo da acque ad elevato contenuto di sale, soprattutto per anomala presenza di sodio non bilanciata da calcio e magnesio, si traducono in una dispersione delle micelle argillose con perdita dello strato strutturale ed in una generalizzata perdita di fertilità attraverso effetti negativi sulla permeabilità del terreno, sugli scambi gassosi, sull'attività microbica (Läuchli e Epstein, 1990). La reazione delle piante pertanto è in stretto rapporto a queste condizioni del complesso pianta-acqua-suolo, che possono portare a modifiche dell'accrescimento degli apparati radicali che si riflettono sull'accrescimento delle parti aeree (Ruggiero *at al.*, 1994). Nelle aree in cui l'acqua salina è l'unica risorsa disponibile per l'irrigazione lo studio dei fenomeni associati alla salinizzazione va, quindi, più realisticamente analizzata in termini di "effetti di lungo periodo". Con salinizzazione di lungo periodo non ci si riferisce all'apporto occasionale di sali al suolo di coltivazione, ma a situazioni in cui l'effetto negativo della salinità sulle colture si manifesta in forma diretta o "*acuta*" (effetti dovuti alla tossicità dei sali ed allo stress osmotico) ed indiretta o "*cronica*" (effetti dovuti al deterioramento nel tempo delle proprietà fisico chimiche dei suoli) (Rhoades, 1999). Negli ambienti in cui si fa ricorso

all'irrigazione esclusivamente nella stagione primaverile-estiva, (ambiente tipico mediterraneo quale quello dell'Italia meridionale), questo fenomeno è ancora più complesso. In questo caso infatti, gli effetti deleteri dell'irrigazione salina si manifestano immediatamente sulle colture estive, e successivamente su quelle autunno-vernine a causa dell'accumulo dei sali nel suolo, non sempre dilavati dalle piogge invernali (Hoffman, 1990; Barbieri e De Pascale, 1992).

Ai fini di una valutazione degli effetti della salinità delle acque sulle colture, quindi, deve anche essere considerato come esse possono essere influenzate dalla salinità residua del terreno, valutando la risposta delle stesse in condizioni ambientali ed edafiche naturali sotto un regime quasi stazionario salino-sodico del terreno. Queste alterazioni possono comportare un accumulo di sali nel suolo accompagnata da un aumento del pH e degradazione della struttura e da una generalizzata perdita di fertilità attraverso effetti negativi sulla permeabilità, sugli scambi gassosi e sull'attività microbica del suolo con effetti deleteri anche sulla produttività delle colture ortive successive. Le prospettive della ricerca appaiono legate alla possibilità di valutare la tolleranza alla salinità delle colture ortive in condizioni ambientali, biologiche e colturali di pieno campo, di studiare la distribuzione della salinità nel tempo e nello spazio lungo il profilo del substrato e di analizzare le modifiche indotte nell'ambiente pedologico dal punto di vista fisico-chimico, idrologico e microbiologico, anche per sviluppare procedure e modelli in grado di consentire la definizione di criteri e di limiti per l'impiego delle acque a contenuto salino elevato, in rapporto sia alla redditività delle specie coltivate che alla salvaguardia della fertilità dei substrati.

Nell'azienda sperimentale dell'Università di Napoli, situata nella Piana del Sele (Bellizzi - Salerno), è in atto un programma di lungo periodo iniziato nel 1988 per

valutare gli effetti dell'irrigazione con acque saline su terreno e su diverse specie orticole. L'obiettivo è quello di determinare la reazione delle piante alla salinità residua del suolo che può portare a modifiche dell'accrescimento ed a riduzioni di resa sia in termini quantitativi che qualitativi anche in assenza di irrigazione. I risultati hanno messo in luce che in condizioni di coltivazione intensiva, anche in presenza di dilavamento operato dalla pioggia, le alterazioni indotte sul terreno nel lungo periodo da acque ad elevato contenuto di sali determinano alterazioni dei normali processi fisiologici delle piante, a partire dalla germinazione ed emergenza, con limitazioni dell'accrescimento e riduzioni di resa sia in termini quantitativi che qualitativi.

Nell'ambito di tale programma è stata svolta una ricerca su pomodoro da industria per valutare la relazione tra stato idrico, accrescimento, produzione e qualità del prodotto in regime di irrigazione salina e successivamente di salinità residua del suolo.

2.1. Materiale e metodi

Obiettivo di questo lavoro di tesi è lo studio della risposta fisiologica e produttiva di pomodoro da industria (*Lycopersicon esculentum* Mill.) alla salinità “di lungo periodo” (irrigazione con acque salinizzate dal 1988) e “di breve periodo” (irrigazione con acque salinizzate dal 2004). Nel corso del biennio 2003-2005 è stato, inoltre, valutato l'effetto dell'applicazione di acidi umici sulle caratteristiche fisico-chimico di suoli salinizzati e sulla crescita e produzione quanti-qualitativa di pomodoro da pelato cv. Montericco (Asgrow).

Piano sperimentale

1. Primo anno

La ricerca è stata condotta nella stagione irrigua 2004 su due appezzamenti contigui denominati: “salinità di lungo periodo” (S) e “salinità di breve periodo” (C). La ricerca è stata condotta su pomodoro da pelato cv. Montericco (Asgrow).

Il piano sperimentale ha previsto il confronto tra salinità di lungo e breve periodo, due livelli di acidi umici (controllo non trattato = N; trattamento con acidi umici = HA) e cinque concentrazioni saline dell'acqua di irrigazione: un testimone irrigato con acqua normale (0%), e quattro livelli di salinità dell'acqua di irrigazione, ottenuti addizionando all'acqua normale (Na^+ 0.53, K^+ 0.05, Ca^{2+} 1.55, Mg^{2+} 0.84, Cl^- 0.38, SO_4^{2-} 0.15, HCO_3^- 4.73 mol m⁻³) sale marino commerciale alle concentrazioni di 0,125%, 0,25%, 0,5% e 1%. All'analisi chimica il sale marino utilizzato ha rivelato la seguente composizione: Na^+ 23,8, Cl^- 51,2, K^+ 14,8, Ca^{2+} 0,102, Mg^{2+} 0,100, SO_4^{2-} 0,28 g 100 g⁻¹. Nel corso della stagione irrigua, la conducibilità elettrica media delle soluzioni nei cinque trattamenti (EC_w a 25 °C) è stata di 0.5, 2.3, 4.4, 8.5 e 15,7 dS m⁻¹

rispettivamente per i trattamenti 0%, 0,125%, 0,25%, 0,5% e 1%. È stato adottato lo schema sperimentale a parcelle suddivise con tre ripetizioni, destinando la salinità alle parcelle principali, le concentrazioni saline alle sub-parcelle e gli acidi umici alle parcelle elementari di 56 m².

Gli acidi umici sono stati applicati al terreno con una lavorazione superficiale prima del trapianto (il 19 aprile) alla dose di 240 kg/ha di Perl Humus granulare (Acido umico 60-75%, S.O. 89%, pH 5.5-6.7, N_{org.} 1% e CSC 400-600 meq/100g).

Prima del trapianto sono stati somministrati 60 kg N ha⁻¹ (come solfato ammonico), 114 kg P₂O₅ ha⁻¹ (come perfosfato minerale) e 98 kg K₂O ha⁻¹ (come solfato potassico); successivamente in copertura sono stati effettuati due interventi (9 giugno e il 2 luglio) alla dose di 52 kg N ha⁻¹ utilizzando nitrato ammonico.

Il trapianto è stato effettuato il 20 maggio con distanza di 0,70 m tra le file e 0,35 sulla fila, con una densità di 4,3 piante m⁻².

Dopo una irrigazione con 30 mm di acqua normale per garantire l'attecchimento delle piantine, la somministrazione di acque saline è cominciata 34 giorni dopo il trapianto (il 23 giugno) ed è proseguita con turni di sette giorni. L'irrigazione è stata effettuata utilizzando un impianto a goccia con gocciolatoi della portata di 2 litri h⁻¹ (5 gocciolatoi m⁻²). I volumi di adacquamento sono stati calcolati in base all'evaporato netto di vasca di classe "A" cumulato tra due irrigazioni, con un coefficiente di vasca e un coefficiente culturale fatto pari a 1, durante tutto il ciclo per avere una quota di acqua per il dilavamento della zona interessata dalle radici. Complessivamente durante il ciclo culturale sono stati somministrati 468 mm di acqua salina.

Le altre cure colturali sono state quelle generalmente praticate per la specie nell'ambiente di coltivazione. La raccolta è stata effettuata in un'unica soluzione tra il 26 ed il 28 agosto.

Salinità di lungo periodo

Presso il Dipartimento di Ingegneria agraria e Agronomia del territorio dell'Università di Napoli, è in corso una ricerca per valutare gli effetti di lungo periodo dell'irrigazione con acque salmastre sul terreno e su diverse colture ortive in successione.

Il programma di ricerca è iniziato nel 1988 presso l'azienda "Torre Lama", situata nella Piana del Sele (Salerno) (40° 31'N 14° 58'E), su suolo limo-argilloso le cui caratteristiche all'inizio della sperimentazione erano: sabbia 42%; limo 27%; argilla 31%; calcare tracce; S.O. 1,57 %; N totale 0,09 %; pH 7,1), umidità alla capacità idrica di campo (*in situ*) del 27,6% e al punto di appassimento (a -1,5 MPa) del 13,6% (in peso secco del terreno).

Dopo oltre 10 anni di irrigazioni con acque saline le proprietà fisico-chimiche del terreno sono risultate significativamente alterate (tab. 3): il suolo del trattamento 1% ha assunto caratteristiche tipiche di alcalisuolo con una riduzione dell'indice di stabilità della struttura e della velocità di infiltrazione dell'acqua, contenuto idrico e pH maggiori, crosta superficiale, e conseguente scarsa aerazione nella zona radicale. La percentuale di sodio scambiabile (ESP) è significativamente aumentata.

Tabella 3 - Caratteristiche del terreno salinizzato (trattamenti 0% e 1%).

<i>Trattamento</i>	<i>0%</i>	<i>1%</i>
Sabbia grossa (2-0,2 mm) %	20	19.5
Sabbia fine (0,2-0,02 mm) %	28	29
Limo (0,02-0,002 mm) %	26.5	26.3
Argilla (< 0,002 mm) %	25.5	25.2
Calcere %	tracce	tracce
pH	7.2	8.3
Sostanza Organica%	1.44	1.14
N Totale %	0.104	0.085
P ₂ O ₅ Assimilabile ppm (Olsen)	96	42
K ₂ O Scambiabile ppm (Olson)	570	442
Percentuale di sodio scambiabile (%)	2.27	86.58
Tasso di Infiltrazione (mm h ⁻¹)	12	0.6
Indice di stabilità della struttura (%)	50	12
Indice di stabilità della struttura (%)	50	12

Rimarchevoli sono risultate anche le differenze nel contenuto di cationi scambiabili (indice E.S.P.) e di ioni presenti nell'estratto acquoso del suolo (tab. 4), con conseguente variazione della sua conducibilità elettrica (ECe). Infine, l'irrigazione con acqua salina ha modificato delle caratteristiche idrologiche del terreno con una riduzione dell'acqua disponibile per le piante (tab. 5).

Tabella 4 - Cationi scambiabili e ioni nell'estratto acquoso del terreno (1:2,5) nello strato 0-30 cm.

Cationi scambiabili (meq /100 g di terreno)					
Trattamenti	Na	K	Ca	Mg	E.S.P.
0%	0,38	0,75	12,58	3,06	2,27%
0,125%	0,49	1,55	10,54	2,45	3,26%
0,25%	1,5	1,48	9,74	2,29	9,99%
0,5%	45,9	8,14	7,13	1,45	73,30%
1%	105,85	8,92	6,13	1,36	86,58%
Ioni nell'estratto acquoso (meq/100 g di estratto)					
	Na	K	Ca	Mg	Cl
0%	0,12	0,05	0,11	0,13	-
0,125%	0,24	0,14	0,09	0,12	0,18
0,25%	0,85	0,11	0,01	0,07	0,56
0,5%	1,6	0,11	-	0,09	0,88
1%	5,4	0,08	-	0,08	4,74

Tabella 5 – Contenuto di umidità del terreno (% volume) alla capacità di campo (CC) ed a -1.5 MPa (PA) nello strato 0-30 cm e 30-60 in risposta all’irrigazione con acqua salinizzata (0%=4.4 dS/m; 0.5%=8.5 dS/m; 1%=15.7 dS/m).

Profondità (m)	0%		0.5%		1%	
	CC	PA	CC	PA	CC	PA
0-30	35.5	17.5	34.7	16.8	33.9	16.6
30-60	35.9	17.5	35.3	17.6	34.8	16.6

Le attuali caratteristiche chimico-fisiche del suolo a cui si fa riferimento derivano quindi da graduali e sostanziali modifiche avvenute nel corso di anni di salinizzazione e rappresentano una condizione colturale potenziale reale per le aree a clima mediterraneo ed allo stesso tempo unica dal punto di vista sperimentale, dal momento che non è riproducibile in ambienti controllati o in campi sperimentali sottoposti a brevi periodi di salinizzazione.

2. Secondo anno

La ricerca è stata condotta nella stagione irrigua 2005, allo scopo di valutare l’effetto di una ulteriore applicazione di acidi umici sulle caratteristiche del terreno e sulla risposta di pomodoro alla salinità residua, nei due appezzamenti su cui l’anno precedente era stata effettuata l’irrigazione salina sono stati confrontati due livelli di acidi umici (controllo non trattato = N; trattamento con acidi umici = HA) distribuiti alle piante in soluzione.

La concimazione prima del trapianto è stata effettuata come nell'anno precedente, successivamente in copertura sono stati effettuati due interventi (14 giugno e il 4 luglio) alla dose di 52 kg N ha⁻¹ utilizzando nitrato ammonico.

Il trapianto è stato effettuato il 26 maggio utilizzando la stessa cultivar (cv Montericco) e alla densità dell'anno precedente.

Dopo un mese dal trapianto sono stati somministrati gli acidi umici distribuendoli in soluzione alla dose di 30 kg/ha di Pow Humus (HA 85%, pH 8-9, CSC 400-600 meq/100g) e 30 kg/ha di Take-Up (HA 83%, S.O. 75%, N_{org.} 0,8%) per un totale di 60 kg/ha di prodotto distribuito nelle sole tesi HA.

L'irrigazione a goccia è stata eseguita con turni di sette giorni. I volumi di adacquamento sono stati calcolati in base all'evaporato netto di vasca di classe "A" cumulato tra due irrigazioni, con un coefficiente di vasca e un coefficiente colturale fatto pari a 1 durante tutto il ciclo, e sono stati somministrati complessivamente 531 mm di acqua. Le altre cure colturali sono state quelle generalmente praticate per la specie nell'ambiente di coltivazione. La raccolta è stata effettuata in una soluzione unica dal 31 agosto al 2 settembre.

Rilievi

Primo anno

Sono stati eseguiti 3 rilievi fisiologici 2 giorni prima dell'irrigazione a 40, 78 e 96 giorni dal trapianto (29 giugno, 6 agosto e 24 agosto). Sono stati misurati: la resistenza stomatica, i potenziali idrici e il contenuto idrico relativo (RWC) delle foglie. I rilievi sono stati effettuati nella sola tesi N su tre piante per ciascuna tesi salina. Per valutare

l'accrescimento delle parti epigee sono state prelevate tre piante per ciascuna tesi salina per il solo trattamento N.

Le misure di resistenza stomatica sono state eseguite tra le ore 12:00 e le 13:00 sulla pagina inferiore della prima foglia giovane completamente espansa utilizzando un porometro a diffusione (AP-4, Delta-T Devices, Cambridge). Il potenziale idrico totale (Ψ_t) è stato misurato sulla prima foglia completamente espansa utilizzando uno psicrometro a termocoppia tipo "dew-point" (WP4, Decagon devices, Washington). Il potenziale osmotico (Ψ_π) è stato misurato sugli stessi campioni dopo congelamento (-30 °C) e scongelamento. La pressione di turgore (Ψ_p) è stata ricavata per differenza tra il potenziale totale e quello osmotico, ritenendo nulla la componente matriciale. Il contenuto idrico relativo (RWC) è stato calcolato come: (peso fresco della foglia – peso secco della foglia)/(peso della foglia alla saturazione – peso secco della foglia) (Morgan, 1984). L'aggiustamento osmotico (AO) delle tesi saline è stato valutato come differenza tra i prodotti $\Psi_{\pi 0} * RWC_0$ e $\Psi_\pi RWC$, dove $\Psi_{\pi 0}$ e RWC_0 sono rispettivamente il potenziale osmotico a pieno turgore e il contenuto idrico relativo della tesi 0%, mentre Ψ_π e RWC sono il potenziale osmotico e il contenuto idrico relativo delle tesi saline.

Sui campioni di piante sono stati valutati: numero di foglie e superficie fogliare (areometro Li-Cor 3000), peso fresco e percentuale di sostanza secca (previo essiccamento in stufa a 60 °C) nelle diverse frazioni epigee della pianta (foglie, stelo e frutti).

In corrispondenza di ciascun rilievo è stata determinata l'umidità del terreno con il metodo gravimetrico su campioni di terreno prelevati ogni 0.3 m nello strato 0-0.9 m. Per la misura della conducibilità elettrica dell'estratto saturo (ECe) e del pH del terreno

(in acqua), sono stati prelevati due campioni di terreno nello strato 0-0.2 m e 0.02-0.04 m.

Prima del trapianto e alla raccolta sono stati prelevati campioni di terreno senza alterarne la struttura ed evitando il compattamento per la misura della densità apparente (D_a , rapporto peso/volume del terreno indisturbato) e della porosità. A tale scopo è stato utilizzato un cilindretto metallico del volume di 100 ml con i bordi taglienti che viene infisso nel suolo. Il terreno contenuto nel cilindro è stato seccato in stufa a 105°C fino a peso costante.

$$D_a = \text{Peso del terreno secco} / \text{Volume}$$

La porosità (P), è definita dal rapporto seguente:

$$P = (V_{ar} + V_{aq}) / V_t$$

dove:

$$V_{ar} = \text{Volume occupato dall'aria}$$

$$V_{aq} = \text{Volume occupato dalla soluzione circolante}$$

$$V_t = \text{Volume totale}$$

La sua misura si ricava dalla densità apparente con la seguente relazione:

$$P = (1 - D_a) / D_r$$

dove:

$$D_a = \text{densità apparente}$$

$$D_r = \text{densità reale (rapporto massa/volume)}$$

Assumendo per un suolo $d_r = 2,65 \text{ g cm}^{-3}$ avremo:

$$\text{Porosità} = (2,651 - \text{densità apparente}) / 2,651.$$

E' appena il caso di ricordare come il valore di $2,65 \text{ g cm}^{-3}$ rappresenta il valore medio della densità reale di un suolo da prendere come riferimento e non un valore costante in tutti i suoli.

Su campioni dello strato superficiale (0-0,2 m) essiccati all'aria, è stato determinato il diametro medio degli aggregati stabili all'acqua secondo la metodologia riportata da Kemper e Rosenau (1986).

Per separare gli aggregati stabili in acqua, un campione di 20 g di terreno, setacciato con setaccio a maglia di 4.75 mm di diametro, è posto in cima ad una pila di setacci con maglia di diametro decrescente, 1.00, 0.50 e 0.25 mm. Il campione è immerso in acqua distillata e dopo 30 minuti, il campione ed i setacci sono sottoposti ad oscillazioni verticali (una al secondo per venti secondi). Dopo allontanamento dell'acqua (per essiccazione in stufa a 50°C), il contenuto dei singoli setacci, così come gli aggregati instabili ($<0.25 \text{ mm}$) raccolti nel recipiente posto alla base della pila dei setacci stessi, viene e pesato. Il rapporto percentuale tra il peso degli aggregati presenti in ogni setaccio ed il peso totale (20 g) (P_i) rappresenta gli aggregati stabili in acqua delle singole classi: 4.75-1.00 mm, 1.00-0.50 mm, 0.50-0.25 mm e $<0.25 \text{ mm}$.

La stabilità degli aggregati) sarà misurata dal Diametro Medio Ponderato (MWD) degli aggregati stabili in acqua, calcolato con la seguente equazione:

$$\text{MWD} = \sum_i X_i P_i$$

dove X_i è il diametro medio del setaccio *iesimo* e P_i la corrispondente percentuale in peso degli aggregati stabili.

Valori elevati di MWD indicano una maggiore porzione di macroaggregati e, quindi, maggiore stabilità della struttura.

Alla raccolta è stata rilevata la produzione totale e le sue componenti, produzione commerciale e scarto (bacche di piccole dimensioni < 50 g, con presenza di decolorazioni, lesioni, marciumi), ed il numero di piante m⁻².

Su un campione di bacche commerciali sono stati determinati pH, conducibilità elettrica (CE), solidi solubili totali (TTS, espressi come °Brix), acidità titolabile, zuccheri riduttori del succo ed il peso secco della bacca (previo essiccamento in stufa a 60 °C).

La valutazione del pH è stata eseguita su campioni frullati mediante pHmetro digitale METTLER TOLEDO MP 220 capace di standardizzare i valori del pH in funzione della temperatura e fornisce valori utili alla temperatura di 25 °C.

La misura della conducibilità elettrica è stata eseguita sui campioni frullati mediante conduttimetro digitale CONDUCTIMETER BASIC 30 che misura la conducibilità elettrica a temperature di riferimento di 25 °C.

La determinazione dei solidi solubili totali è stata eseguita su campioni di bacche frullati per circa tre minuti, utilizzando un rifrattometro digitale (ATAGO Palette, PR-32) che esprime i valori in °Brix. La scala °Brix utilizza l'indice di rifrazione dell'acqua ($I_r = 1.3329$) come riferimento (0%) e fornisce una stima del contenuto percentuale di saccarosio presente in una soluzione acquosa.

La determinazione dell'acidità titolabile è stata effettuata su 50 g di prodotto omogeneizzato. Il campione è stato diluito con acqua distillata in un matraccio tarato fino a volume di 200 ml. Quindi filtrato e 20 ml del filtrato diluiti con 20 ml di acqua distillata sono stati titolati a pH 8.1 con NaOH 0.1 N in presenza di fenolftaleina. L'acidità titolabile è espressa come g di acido citrico per 100 g di peso fresco, e si ricava dalla seguente formula:

$$\% \text{ Ac. Citrico} = 0,0070 * X * 200/20 * 100/50 = 0,14 * X$$

dove X = ml di NaOH 0.1 N utilizzati nella titolazione.

La determinazione degli zuccheri riduttori è stata effettuata su un campione di 20 g di prodotto omogeneizzato, il volume del campione è stato portato a 100 ml con acqua distillata in un matraccio. Dopo 3 minuti sono stati addizionati al campione 10 ml di soluzione satura di acetato di piombo neutro (soluzione defecante). Dopo 10 minuti l'eccesso di piombo è stato eliminato con aggiunta di 15 ml di soluzione satura di ossalato di sodio, agitazione, sedimentazione e filtrazione.

In un matraccio a fondo piatto sono stati versati 5 ml di soluzione di Fehling A (solfato rameico, CuSO_4), 5 ml di soluzione di Fehling B (Tartrato di sodio e potassio, sale di Seignette, $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ + idrossido di sodio NaOH) e 40 ml di acqua, la soluzione è stata riscaldata fino ad incipiente ebollizione. Ad ebollizione è stato aggiunto, mediante buretta, un volume di soluzione campione poco inferiore a quello necessario per la completa decolorazione del liquido di Fehling; dopo un minuto e sempre con il liquido in ebollizione sono state aggiunte due gocce di blu di metilene allo 0.1% e soluzione campione fino a completa scomparsa della colorazione azzurra dell'indicatore che deve avvenire in un tempo massimo di tre minuti. La colorazione finale deve essere di un colore mattone persistente.

La percentuale di zuccheri riduttori si esprime:

$\% (p/v) \text{ di zucchero riduttore} = (f+d)/(a-0.1)$ dove:

f = fattore dovuto al potere riducente dello zucchero determinato:

glucosio = 4.945

fruttosio = 5.350

invertito = 5.150

d = diluizione della soluzione zuccherina campione

a = ml di soluzione zuccherina campione utilizzati nella titolazione.

Secondo anno

I rilievi fisiologici sono stati effettuate due giorni prima dell'irrigazione a partire dal 21 giugno (26 giorni dopo il trapianto) e sono stati ripetuti il 19 luglio, 4 agosto, 16 agosto, 30 agosto (in totale 5 rilievi: 26, 54, 70, 82, 96 giorni dal trapianto).

Il giorno successivo ad ogni rilievo fisiologico da ciascuna ripetizione è stata prelevata una pianta per valutare l'accrescimento delle parti epigee. In corrispondenza di ciascun rilievo è stata determinata l'umidità del terreno con il metodo gravimetrico su campioni di terreno prelevati ogni 0.3 m nello strato 0-0.9 m. Per la misura della conducibilità elettrica dell'estratto saturo (ECe) e del pH del terreno (in acqua), sono stati prelevati due campioni di terreno nello strato 0-0.2 m e 0.2-0.4 m. Prima del trapianto e alla raccolta sono stati prelevati campioni di terreno senza alterarne la struttura ed evitando il compattamento per la misura della densità apparente e della porosità.

La risposta produttiva della coltura alla salinità del terreno è stata descritta utilizzando il modello bilineare di Maas e Hoffmann (1977): $Y_r = 100 - m (EC_e - S)$, dove Y_r è la produzione relativa di pomodoro espressa come rapporto tra resa in condizioni di salinità del terreno e resa in condizioni normali; ECe è la media ponderata nel tempo della conducibilità elettrica dell'estratto saturo di terreno nello strato 0-30 cm; S è la soglia di salinità, cioè il livello di ECe tollerato senza perdita di produzione, al di sotto del quale la resa è fissata al 100%; m è un fattore pendenza che lega linearmente la riduzione di resa con gli incrementi di ECe al di sopra del valore soglia.

I dati sono stati sottoposti ad analisi della varianza e le medie sono state confrontate con il test della DMS.

3. Risultati

3.1. Andamento meteorologico

In Figura 1 e 2 sono riportati i valori della temperatura media e delle precipitazioni registrati durante i due anni di sperimentazione (2004-2005).

Nel 2004 durante il periodo di coltivazione (maggio-agosto) le precipitazioni sono assommate a 149 mm di cui 138 mm (pari all'86% del totale) nei 30 giorni successivi al trapianto. Sono da segnalare, inoltre, le elevate precipitazioni del mese precedente al trapianto (164 mm). Le temperature medie decadali minima e massima sono risultate pari a 17 e 28 °C, rispettivamente. I valori delle temperature minime sono stati compresi tra 11 (II maggio) e 20 °C (II agosto), mentre le temperature massime sono aumentate dal trapianto alla II decade di agosto da 22 a 31 °C (II agosto).

Nel 2005 durante il periodo di coltivazione (maggio- agosto) le precipitazioni sono state pari a 33 mm di pioggia. Le precipitazioni nel mese prima del trapianto sono risultate pari a circa 110 mm. Durante il ciclo colturale le medie decadali della temperatura minima e massima sono risultate pari a 18 e 29 °C, rispettivamente. Le temperature minime sono oscillate tra 14 (II maggio) e 21 °C (II luglio), mentre le temperature massime sono risultate comprese tra 25 a 32 °C (II luglio).

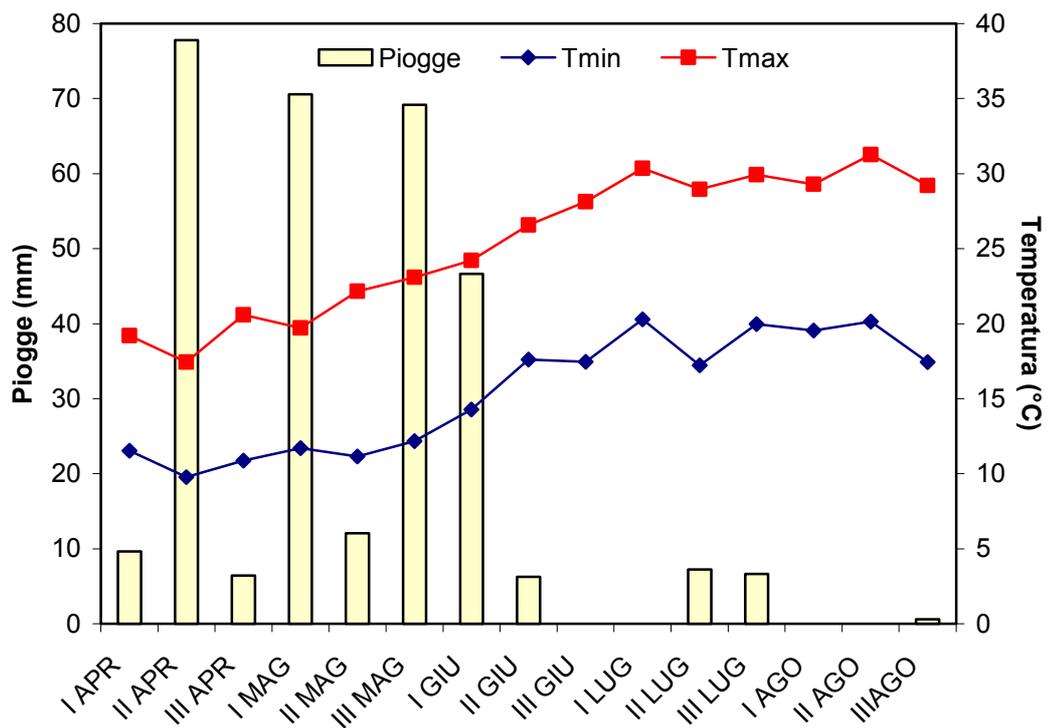


Figura 1 - Andamento termopluviometrico nel primo anno (2004)

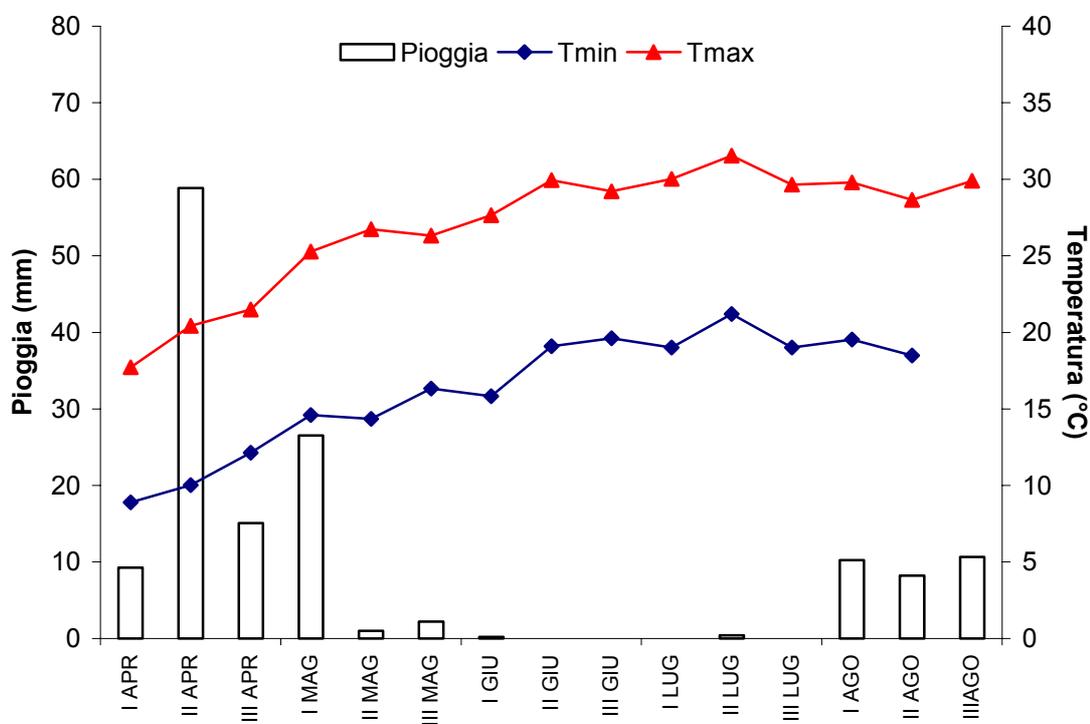


Figura 1 - Andamento termopluviometrico nel secondo anno (2005)

3.2. EC_e e pH

Anno 2004

La conducibilità elettrica dell'estratto saturo del terreno (EC_e), rilevata nello 0 – 40 cm di profondità (tab. 5), ha mostrato in media, durante il periodo di ricerca, (aprile-settembre), incrementi significativi all'aumentare della conducibilità elettrica dell'acqua di irrigazione passando da valori di 2,0 dS/m nella parcella controllo (0%) a valori di 6,5 dS/m in quella più salinizzata (1%).

Anche il pH è aumentato al crescere della salinità dell'acqua di irrigazione raggiungendo 7.7 nelle parcelle più salinizzate.

Anche il campo ha influenzato in maniera significativa i tre parametri considerati in precedenza (tab. 5). In particolare, la salinità di lungo periodo (S) ha fatto registrare valori in media significativamente superiori di pH ed EC_e rispetto al campo salinità di breve periodo (C).

Tabella 5 -

<i>NaCl (%) – EC (dS/m)</i>	<i>pH</i>	<i>EC_e (dS/m)</i>
<i>0% - 0.5</i>	7.13	2.0
<i>0.125% - 2.3</i>	7.22	3.2
<i>0.25% - 4.4</i>	7.23	4.0
<i>0.5% - 8.5</i>	7.26	5.0
<i>1% - 15.7</i>	7.66	6.5
	**	**
DMS	0.10	0.3
CAMPO		
S	7.46	4.9
C	7.14	3.4
	**	**
DMS	0.06	0.2

Interazioni significative Campo x Salinità sono state osservate per entrambi i parametri.

Nel caso della EC_e le differenze tra le tesi saline risultano significative già nella tesi

0,125% (2.3 dS/m) e la ECe raggiunge 8 dS/m nella tesi più salinizzata, in corrispondenza di valori della EC dell'acqua di irrigazione di 15.7 dS/m (Fig. 4). Il pH aumenta linearmente all'aumentare della EC dell'acqua di irrigazione nel campo salinizzato di lungo periodo da circa 7 ad oltre 8; mentre nel campo salinizzato di breve periodo tali differenze sono limitate e non risultano sempre significative (Fig. 5).

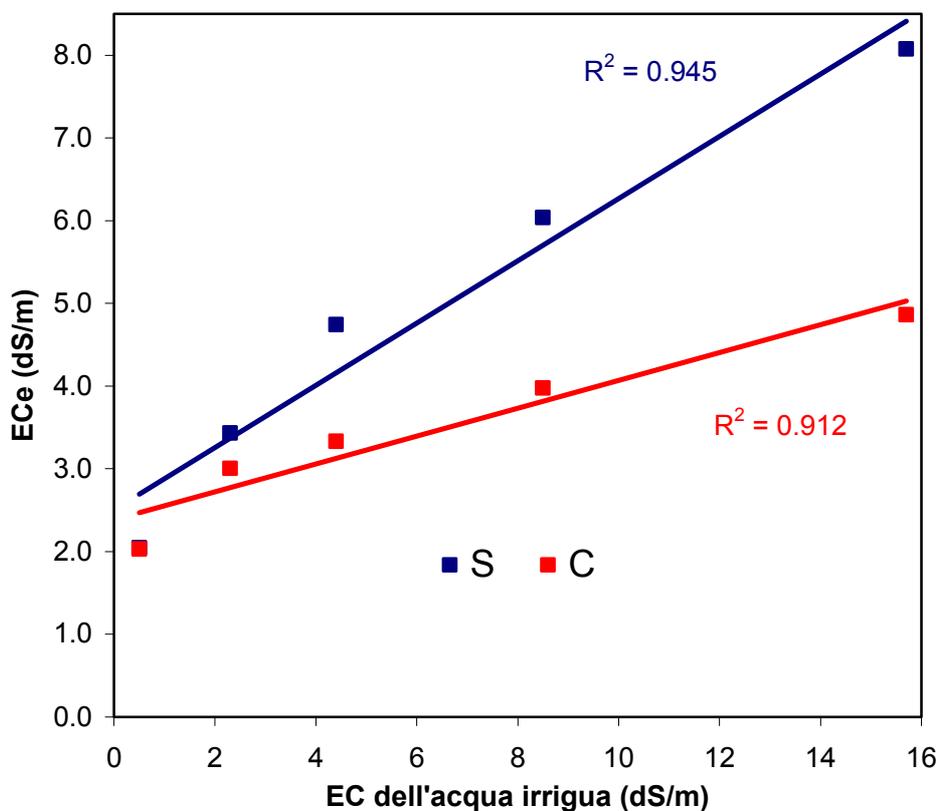


Figura 4. Interazione Campo x Salinità per il ECe.

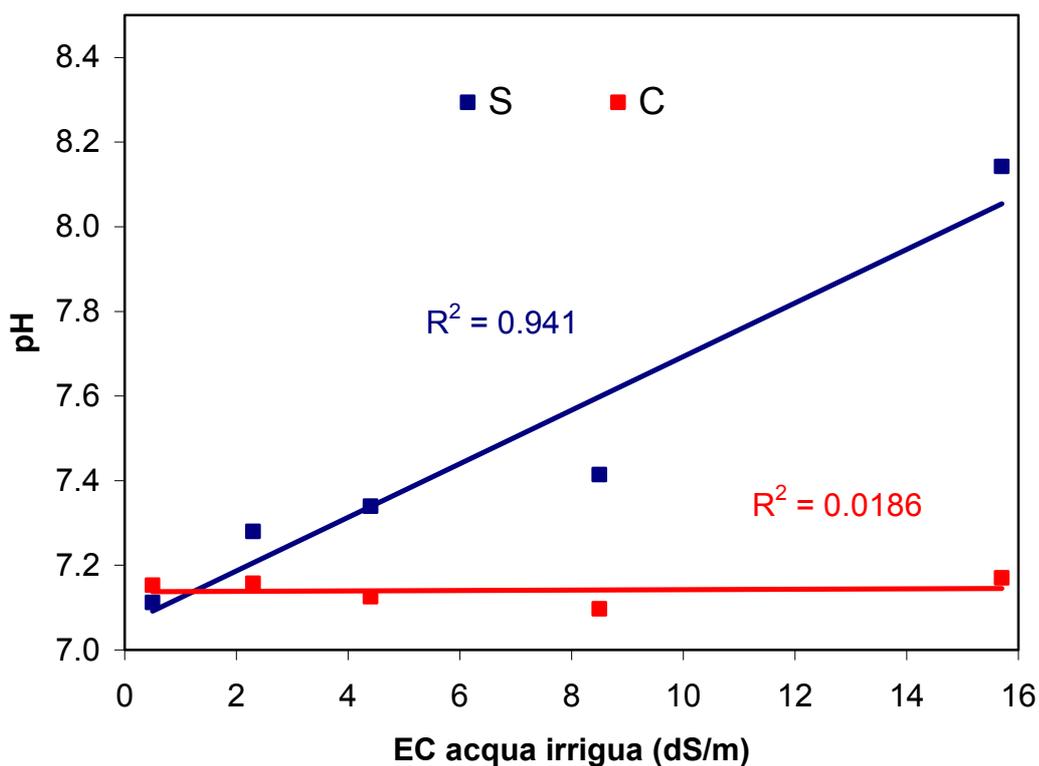


Figura 5. Interazione Campo x Salinità per il pH.

Anno 2005

Anche nel 2005, anno in cui l'irrigazione è stata effettuata con acqua normale investigando gli effetti della salinità residua del terreno, i valori medi del pH e della ECe sono risultati significativamente crescenti all'aumentare della salinità residua del terreno, (tab. 6).

La ECe è passata da 1,5 dS/m nella tesi 0% a 5,4 dS/m nella tesi 1%, con valori sensibilmente inferiori a quelli registrati nella stagione precedente per tutte le tesi considerate; mentre il pH è risultato più stabile e compreso tra 7,11 (0%) e 7,8 (1%). Valori significativamente più elevati per entrambi i parametri sono stati registrati nel campo salinità di lungo periodo rispetto al campo salinità di breve periodo (tab. 6).

Tabella 6 -

<i>NaCl (%) – EC (dS/m)</i>	<i>pH</i>	<i>ECe (dS/m)</i>
0% - 0.5	7.11	1.5
0.125% - 2.3	7.21	2.7
0.25% - 4.4	7.31	3.2
0.5% - 8.5	7.41	3.9
1% - 15.7	7.83	5.4
	**	**
DMS	0.07	0.3
CAMPO		
<i>S</i>	7.50	3.9
<i>C</i>	7.24	2.8
	**	**
DMS	0.04	0.2

Anche in quest'anno sono state osservate interazioni significative Campo x salinità per i parametri pH e conducibilità elettrica del terreno (fig. 5 e 6). In entrambi i casi si notano degli incrementi dei parametri considerati all'aumentare della salinità residua del suolo (espressa come EC dell'acqua irrigua utilizzata nella/e stagione/i precedente/i) con valori superiori nella salinità di lungo periodo rispetto alla salinità di breve periodo in cui tali differenze si manifestano in maniera più marcata quasi esclusivamente nella tesi più salinizzata.

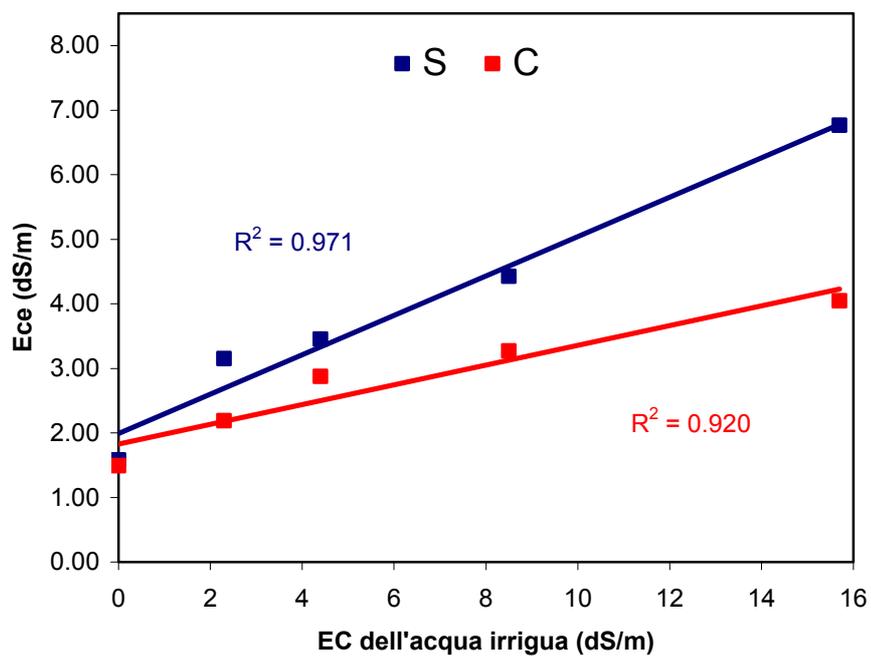


Figura 5. Interazione Campo x Salinità per la ECe.

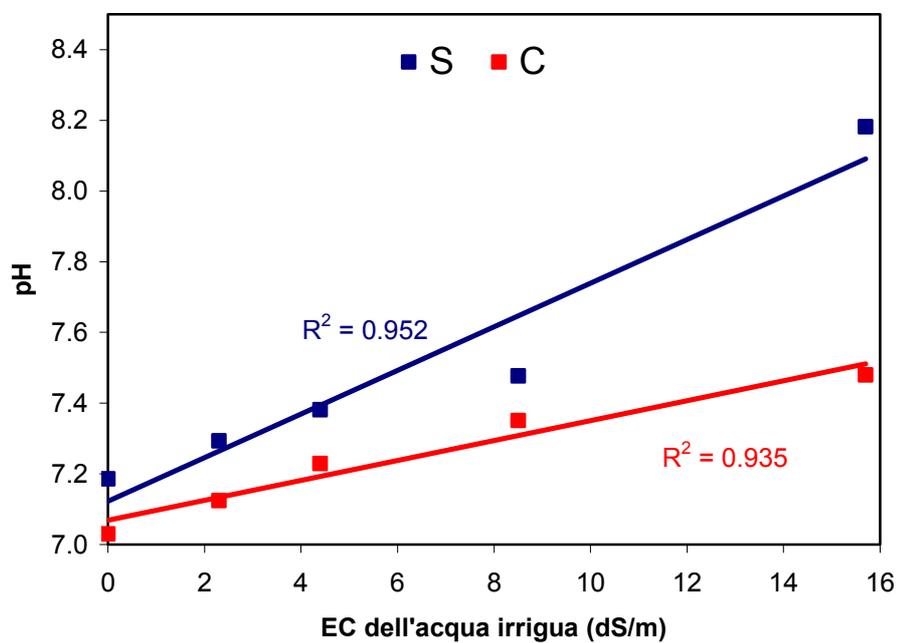


Figura 6. Interazione Campo x Salinità per il pH.

3.3. Densità apparente, porosità e diametro medio degli aggregati (MWD).

2004

Dall'analisi dei dati è risultato che i valori di densità apparente (DA), porosità e diametro medio degli aggregati (MWD) sono variati significativamente nel corso del ciclo colturale. In particolare si è avuto un incremento significativo della densità apparente rilevata alla raccolta della coltura rispetto ai valori rilevati in impianto della stessa.

La porosità e il diametro medio degli aggregati, invece, hanno mostrato decrementi dall'impianto alla raccolta.

Tabella 7 -

	DA (t/m³)	Porosità (%)	MWD (mm)
<i>Epoca</i>			
<i>Impianto</i>	1.37	46.62	1.20
<i>Raccolta</i>	1.50	41.24	0.85
	**	**	**
<i>DMS</i>	0.036	1.41	0.030
<i>Acidi umici</i>			
<i>HA</i>	1.44	43.82	1.03
<i>N</i>	1.43	44.04	1.02
	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Campo</i>			
<i>S</i>	1.52	40.75	0.90
<i>C</i>	1.35	47.11	1.16
	**	**	**
<i>DMS</i>	0.036	1.41	0.030
<i>NaCl (%) – EC (dS/m)</i>			
<i>0% - 0.5</i>	1.37	46.52	1.17
<i>0.125% - 2.3</i>	1.43	44.25	1.08
<i>0.25% - 4.4</i>	1.44	43.75	1.06
<i>0.5% - 8.5</i>	1.47	42.66	0.93
<i>1% - 15.7</i>	1.47	42.46	0.88
	**	**	**
<i>DMS</i>	0.037	2.22	0.048

Differenze significative si sono avute in media anche tra il campo salinità di lungo periodo e il campo salinità di breve periodo per porosità e MWD. In particolare la salinità di lungo periodo (S) ha mostrato valori di porosità e MWD minori rispetto alla salinità di breve periodo (C). La densità apparente, invece, ha fatto registrare valori significativamente superiori nella salinità di lungo periodo rispetto alla salinità di breve periodo.

La densità apparente è aumentata in maniera significativa all'aumentare della salinità dell'acqua di irrigazione passando da valori di $1,37 \text{ t/m}^3$ nella tesi controllo a valori di $1,47 \text{ t/m}^3$ nelle tesi 0,5% e 1%. La porosità e il diametro medio degli aggregati (MWD), viceversa, hanno subito decrementi significativi all'aumentare della salinità.

Nessuna differenza significativa è stata registrata in risposta al trattamento con acidi umici.

E' stata individuata una interazione significativa Campo x salinità per il diametro medio degli aggregati (fig. 7). In generale si nota un decremento del diametro medio degli aggregati all'aumentare della salinità che, tuttavia, risultano più evidente nella salinità di lungo periodo (S) con differenze tra i due campi più marcate all'aumentare della salinità dalla tesi 0 ($EC = 2.3 \text{ dS/m}$) alla 1% ($EC = 15.7 \text{ dS/m}$).

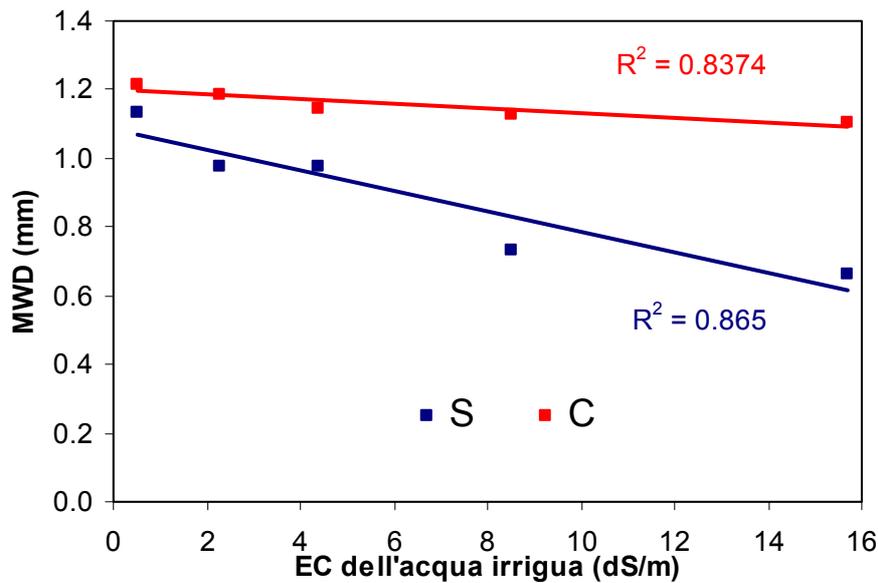


Figura 7. Interazione Campo x salinità per il diametro medio degli aggregati (MWD).

2005

Nel 2005 la densità apparente, la porosità e il diametro medio degli aggregati sono risultati significativamente differenti all'aumentare della salinità residua del suolo. In particolare, la densità apparente è risultata più bassa nel controllo non salinizzato (0%) ed a valori medio-bassi di salinità (0.125 e 0.25%) rispetto alle tesi più saline (0.5% e 1%). Andamento simile, ma decrescente con la salinità, hanno fatto registrare la porosità e il diametro medio degli aggregati. Differenze significative si sono registrate anche tra la salinità di lungo periodo e la salinità di breve periodo per i parametri suddetti. La densità apparente ha assunto in media valori significativamente più alti nel campo *S* rispetto al campo *C*, per la porosità e il diametro medio degli aggregati, invece, i valori più alti sono stati registrati nel campo *C*. Non sono state registrate differenze significative tra le medie dei parametri in osservazione, per effetto dell'epoca ed a seguito del trattamento con acidi umici.

	DA (t/m³)	Porosità (%)	MWD (mm)
Epoca			
<i>Impianto</i>	1.49	41.15	0.86
<i>Raccolta</i>	1.51	41.85	0.86
	n.s.	n.s.	n.s.
Acidi umici			
<i>HA</i>	1.49	41.65	0.87
<i>N</i>	1.50	41.34	0.86
	n.s.	n.s.	n.s.
Campo			
<i>S</i>	1.55	39.31	0.83
<i>C</i>	1.44	43.68	0.89
	**	**	**
<i>DMS</i>	0.015	0.58	0.018
NaCl (%) – EC (dS/m)			
0% - 0.5	1.46	43.10	1.00
0.125% - 2.3	1.49	41.95	0.90
0.25% - 4.4	1.48	42.04	0.84
0.5% - 8.5	1.52	40.49	0.80
1% - 15.7	1.54	39.90	0.77
	**	**	**
<i>DMS</i>	0.023	0.91	0.029

Anche nel secondo anno è stata osservata una interazione significativa Campo x Salinità per il diametro medio degli aggregati (fig. 8). In particolare nel campo salinità di lungo periodo (S) il diametro medio degli aggregati decresce linearmente all'aumentare della EC dell'acqua irrigua utilizzata nella/e stagione/i precedente/i con differenze tra i due campi più marcate al crescere della salinità, mentre nel campo salinità di breve periodo tale decremento è ridotto o nullo.

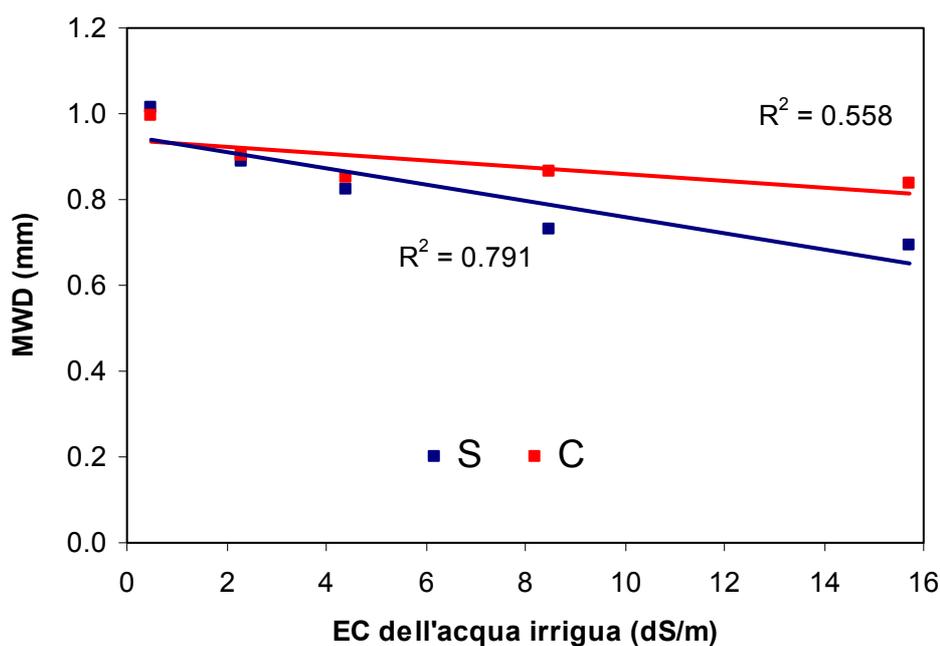


Figura 8. Interazione Campo x salinità per il diametro medio degli aggregati (MWD).

3.4. Relazioni idriche

2004

In tabella 9 sono riportati i valori dei parametri fisiologici delle foglie di pomodoro sottoposte a stress salino.

Tabella 9 -

<i>NaCl (%) – EC (dS/m)</i>	Ψ_t <i>MPa</i>	Ψ_π <i>MPa</i>	Ψ_p <i>MPa</i>	AO <i>MPa</i>	RS <i>cm/s</i>
0% - 0.5	-0.80	-1.16	0.36		1.22
0.125% - 2.3	-1.07	-1.39	0.32	0.20	1.55
0.25% - 4.4	-1.20	-1.50	0.30	0.27	2.30
0.5% - 8.5	-1.31	-1.58	0.28	0.32	2.76
1% - 15.7	-1.71	-1.97	0.26	0.61	3.61
	**	**	**	**	**
<i>DMS</i>	0.08	0.09	0.04	0.11	0.29
<i>Campo</i>					
<i>S</i>	-1.21	-1.52	0.3	0.39	2.35
<i>C</i>	-1.22	-1.52	0.31	0.31	2.22
	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

I potenziali idrici fogliari totale, osmotico ed la pressione di turgore sono risultati decrescenti in maniera significativa all'aumentare della conducibilità elettrica dell'acqua di irrigazione. In media la differenza di Ψ_t tra le piante irrigate con la maggiore concentrazione salina e le piante irrigate con acqua normale è stata di -0,91 MPa; mentre la corrispondente diminuzione di Ψ_π è stata in media di 0,81 MPa. Considerati gli andamenti di Ψ_t e Ψ_π , le foglie delle piante soggette a stress salino hanno presentato in media valori di potenziale di pressione di turgore Ψ_p significativamente minori al crescere della salinità; la riduzione, rispetto al controllo, è stata in media del 10%, 16%, 23%, 27% rispettivamente per le concentrazioni 0,125%, 0,250%, 0,5%, 1%.

L'aggiustamento osmotico delle tesi saline è risultato maggiore all'aumentare della concentrazione di sale dell'acqua di irrigazione; tale incremento è stato, in media, del 67% nella tesi più salinizzata rispetto alla tesi 0,125%.

La salinità dell'acqua di irrigazione ha influenzato anche sulla resistenza stomatica (tab. 9) facendo registrare incrementi sempre maggiori e significativi al crescere della stessa fino ad arrivare ad un incremento del 66% della tesi più salinizzata (1%) rispetto al controllo (0%). Non si sono registrate differenze per il contenuto idrico relativo (RWC) al crescere della salinità.

I campi non hanno fatto registrare differenze significative tra le medie, tuttavia sono state osservate interazioni significative campo x salinità per i parametri Ψ_t e Ψ_π .

Il potenziale totale è in generale diminuito al crescere della salinità in entrambi i campi (Fig. 9). Tuttavia, il decremento del potenziale totale al crescere della EC dell'acqua di irrigazione è risultato superiore nel campo salinità di lungo periodo rispetto a quello misurato nel campo salinità di breve periodo. Anche il potenziale osmotico ha mostrato

in generale valori decrescenti al crescere dello stress salino applicato in entrambi i campi con decrementi superiori a livelli di salinità più elevati nel campo *S* rispetto al campo *C* (Fig. 10). Sono state, inoltre, individuate interazioni significative campo x salinità anche per il parametro AO (Fig. 11). L'aggiustamento osmotico segue, in generale, un andamento crescente in entrambi i campi al crescere della salinità; tuttavia nella salinità di lungo periodo sono stati registrati incrementi superiori rispetto alla salinità di breve periodo.

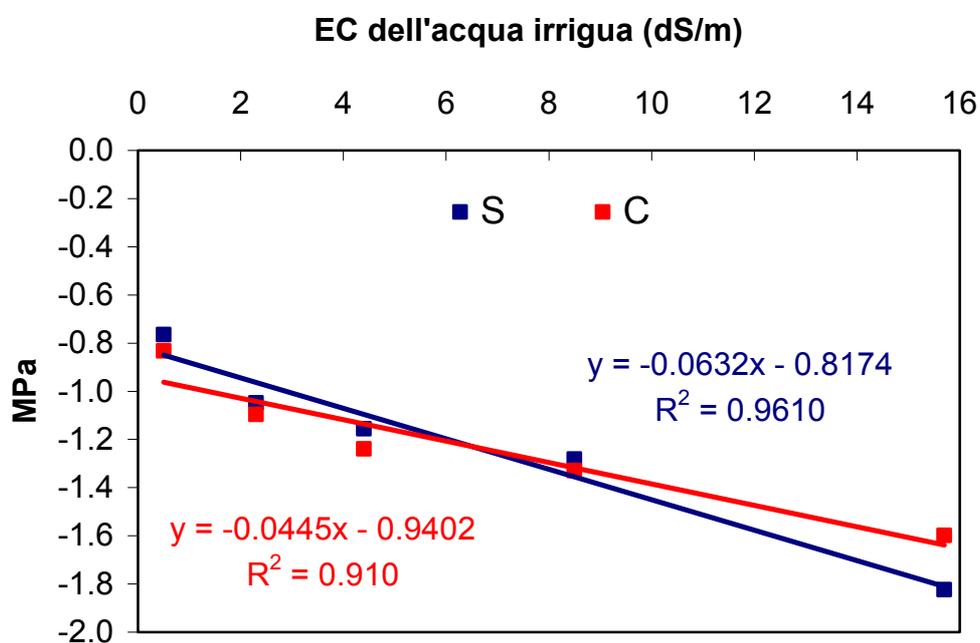


Figura 9. Interazione campo x salinità per il potenziale totale

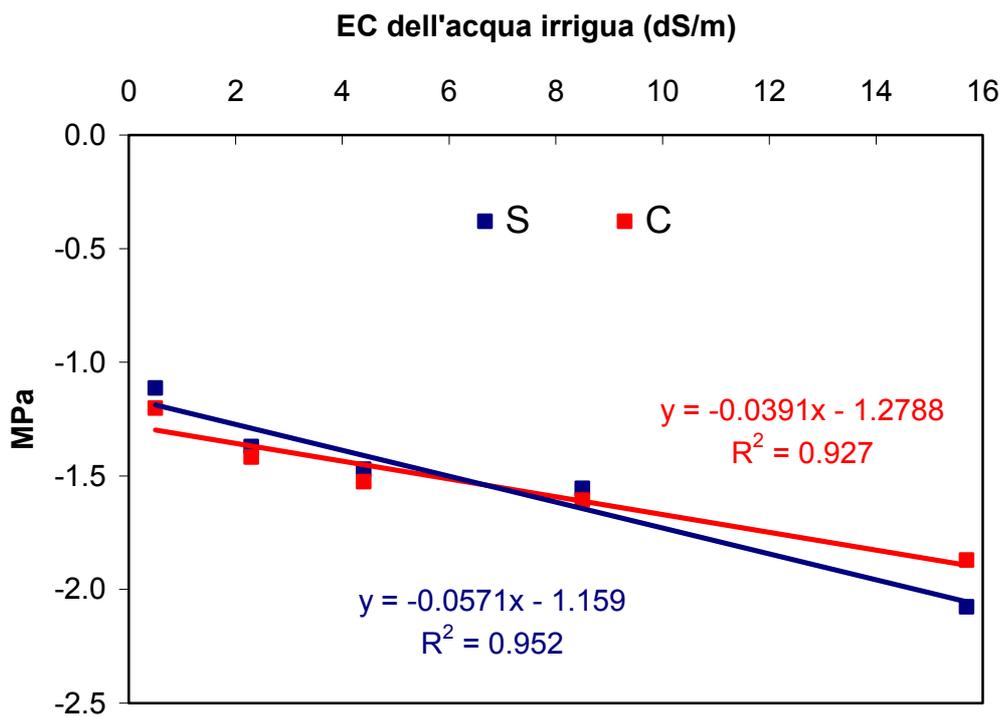


Figura 10. Interazione campo x salinità per il potenziale osmotico

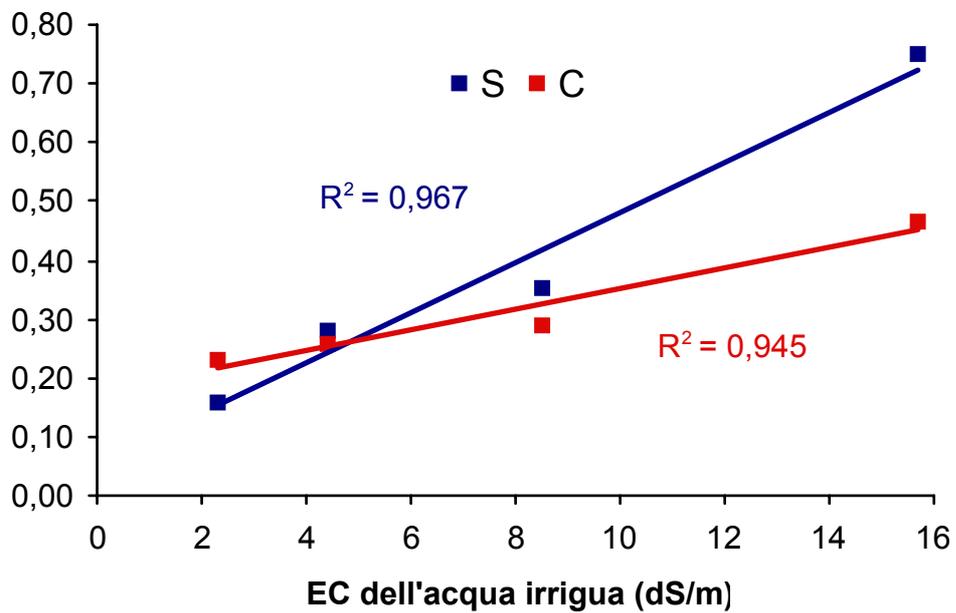


Figura 11. Interazione campo x salinità per AO

2005

Nell'anno 2005 (tab. 10) i potenziali idrici fogliari, totale e osmotico, hanno subito in media decrementi significativi all'aumentare delle salinità residua del terreno.

Tabella 10 -

<i>NaCl (%) – EC (dS/m)</i>	Ψ_t <i>MPa</i>	Ψ_π <i>MPa</i>	Ψ_p <i>MPa</i>	<i>AO</i> <i>MPa</i>	<i>RS</i> <i>cm/s</i>
<i>0% - 0.5</i>	-0,74	-1,13	0,39	-	0,92
<i>0.125% - 2.3</i>	-0,93	-1,29	0,36	0,24	1,17
<i>0.25% - 4.4</i>	-1,09	-1,43	0,34	0,29	1,40
<i>0.5% - 8.5</i>	-1,24	-1,55	0,32	0,37	1,74
<i>1% - 15.7</i>	-1,34	-1,64	0,31	0,45	2,54
	**	**	**	**	**
<i>DMS</i>	0,07	0,07	0,01	0,11	0,21
<i>Campo</i>					
<i>S</i>	-1,09	-1,42	0,34	0,35	1,83
<i>C</i>	-1,05	-1,4	0,35	0,33	1,28
	n.s.	n.s.	*	n.s.	**
<i>DMS</i>			0,01		0,13

In media, rispetto al controllo (0%) la diminuzione del potenziale totale (Ψ_t) e del potenziale osmotico (Ψ_π) nella tesi più salinizzata (1%) è risultata pari a 0,60 e 0,51 MPa, rispettivamente. Il potenziale di turgore delle foglie delle piante sottoposte a maggiore stress salino ha mostrato valori in media significativi ed inferiori rispetto alle foglie delle piante controllo (0,39 MPa vs 0,31 MPa) ed è risultato minore nel campo salinità di lungo periodo (S) rispetto al campo salinità di breve periodo (C).

L'aggiustamento osmotico ha mostrato in media valori significativamente crescenti al crescere dello stress con incrementi del 46% nella tesi più salinizzata rispetto alla tesi 0,125%.

Le piante sottoposte a stress salino hanno mostrato, in media valori significativamente maggiori della resistenza stomatica al crescere dello stress (tab. 10); tale parametro ha

fatto registrare valori significativamente maggiori nel campo salinità di lungo periodo rispetto al campo salinità di breve periodo.

Significativa è risultata, anche l'interazione tra campo x salinità per i parametri Ψ_t , Ψ_π e Ψ_p (fig. 12, 13, 14). In generale si sono avuti decrementi dei potenziali al crescere delle salinità residua del suolo, tali decrementi, tuttavia, sono risultati significativamente maggiori nel campo S.

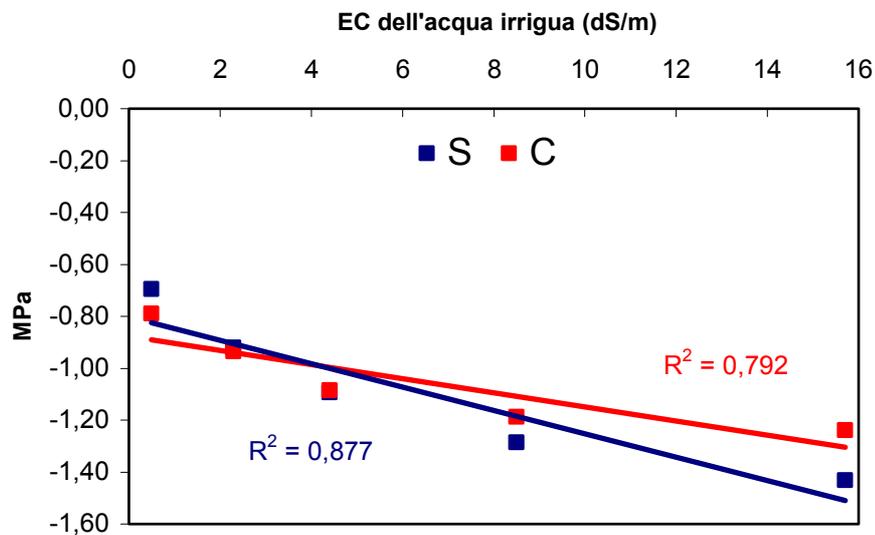


Figura 12. Interazione campo x salinità per il potenziale totale.

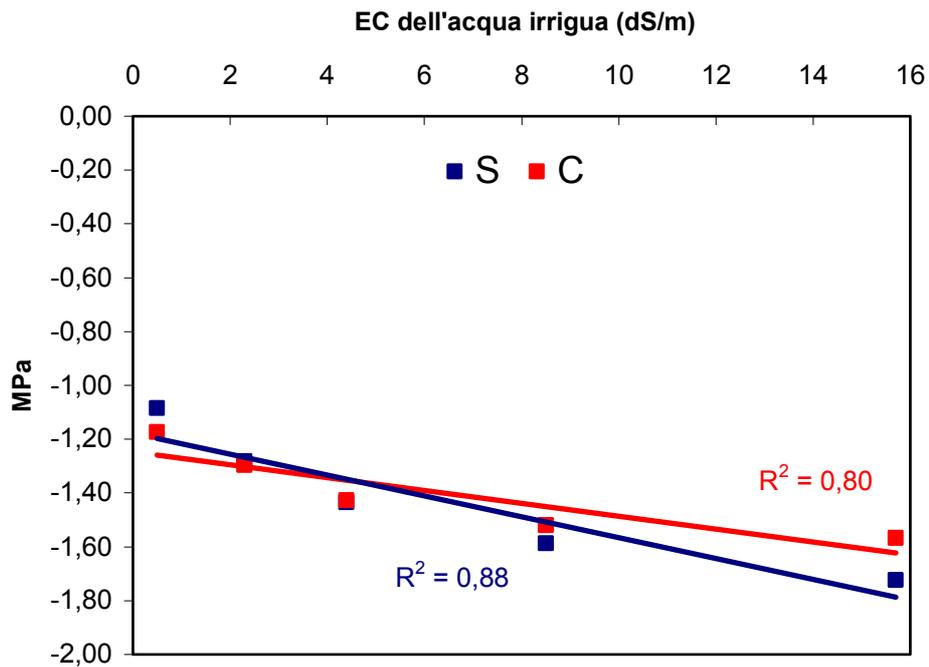


Figura13. Interazione campo x salinità per il potenziale osmotico

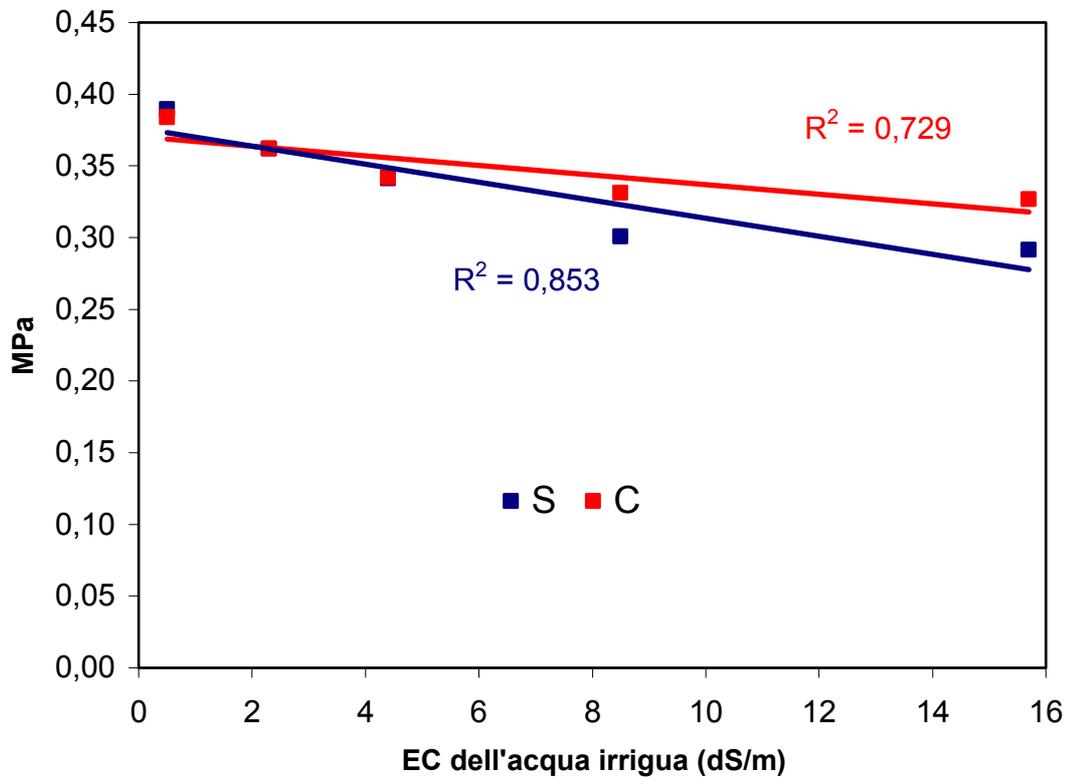


Figura 14. Interazione campo x salinità per il potenziale pressione.

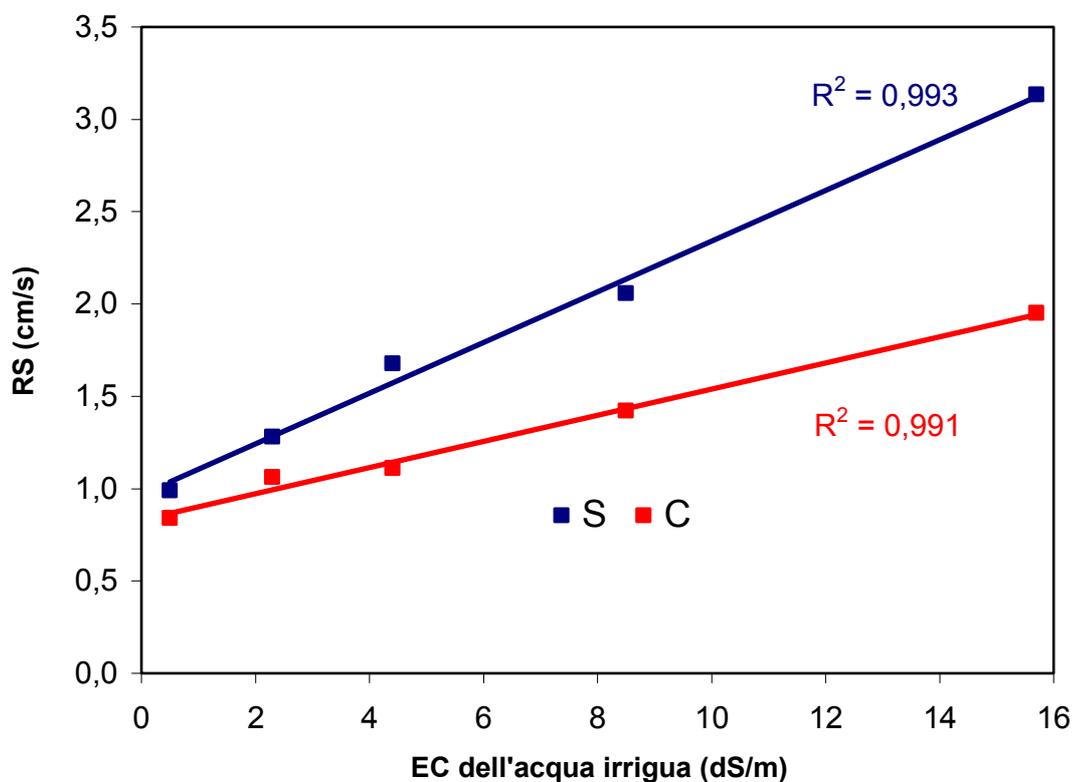


Figura 15. Interazione campo x salinità per la resistenza stomatica.

E' stata osservata una interazione significativa tra salinità di lungo e breve periodo anche per il parametro resistenza stomatica (fig. 15). La resistenza stomatica nella salinità di lungo periodo e in quella di breve periodo è aumentata linearmente all'aumentare della EC dell'acqua irrigua utilizzata nella/e stagione/i precedente/i con differenze maggiori nel campo S.

3.5. Accrescimento

2004

La salinità ha influenzato in maniera significativa la crescita delle piante (tab. 11). La sostanza secca epigea totale prodotta per pianta è diminuita in media all'aumentare

dello stress salino applicato raggiungendo livelli inferiori al 46% del controllo (0%) nella tesi a più elevata salinità (1%).

Tabella 11 - Accrescimento 2004

<i>NaCl (%) – EC (dS/m)</i>	<i>SS Fg (g/pianta)</i>	<i>SS Fg (%)</i>	<i>LA (dm²/pianta)</i>	<i>SS epigea (g/pianta)</i>	<i>SLW (g/dm²)</i>
<i>0% - 0.5</i>	61,3	15,5	53,5	213,5	1,15
<i>0.125% - 2.3</i>	51,4	15,5	41,2	184,7	1,25
<i>0.25% - 4.4</i>	45,6	15,7	36,5	171,4	1,25
<i>0.5% - 8.5</i>	41,9	15,6	34,0	155,0	1,23
<i>1% - 15.7</i>	28,6	16,2	23,4	113,6	1,26
	**	*	**	**	*
DMS	9,2	0,4	8,0	43,8	0,05
Campo					
<i>S</i>	35,4	16,3	28,9	143,7	1,25
<i>C</i>	56,0	15,1	46,5	191,6	1,21
	**	*	**	*	*
DMS	14,6	0,7	12,6	69,3	0,08

Anche la percentuale di sostanza secca delle foglie è stata influenzata significativamente dalla salinità mostrando valori crescenti all'aumentare dello stress salino. La riduzione di crescita dovuta alla salinità ha interessato marcatamente sia la superficie fogliare che la sostanza secca accumulata nelle foglie. In particolare, l'area fogliare per pianta ha fatto registrare un significativo decremento a seguito dello stress salino riducendosi di circa il 56% nella tesi 1% rispetto al controllo (0%); mentre la sostanza secca delle foglie si è attestata su valori di circa il 50% inferiori rispetto al controllo. Tale andamento trova conferma nello SLW, che indica una maggiore massa per unità di superficie delle foglie nelle piante sottoposte a più elevato stress salino con tessuti normalmente più ispessiti.

L'effetto campo ha fatto registrare differenze significative tra salinità di lungo periodo (S) e salinità di breve periodo (C) per l'accrescimento vegetativo. In particolare nella salinità di lungo periodo la sostanza secca prodotta per pianta e l'area fogliare mostrano

valori inferiori rispetto alla salinità di breve periodo (rispettivamente -25% e -38%). Analogamente la sostanza secca foglie prodotta per pianta ha subito un significativo decremento in S raggiungendo livelli inferiori al 38% rispetto alla salinità di breve periodo. Anche la percentuale di sostanza secca foglie e l'SLW sono risultati influenzati significativamente dall'effetto campo. In particolare, la salinità di lungo periodo ha determinato un aumento della sostanza secca percentuale e del peso specifico foglie rispetto alla salinità di breve periodo.

Nelle figure 16 e 17 sono riportati i valori massimi della superficie fogliare e della sostanza secca totale epigea in funzione della salinità dell'acqua irrigua nei due campi.

E' possibile notare che la superficie fogliare, in generale, decresce linearmente al crescere della salinità nei due campi assumendo valori decisamente inferiori nel campo salinità di lungo periodo rispetto alla salinità di breve periodo. In particolare nel campo S si assiste ad un decremento della superficie fogliare di oltre il 75% nella tesi 1% rispetto alla tesi 0%, mentre nel campo C tale decremento è di circa il 50% (Fig. 16).

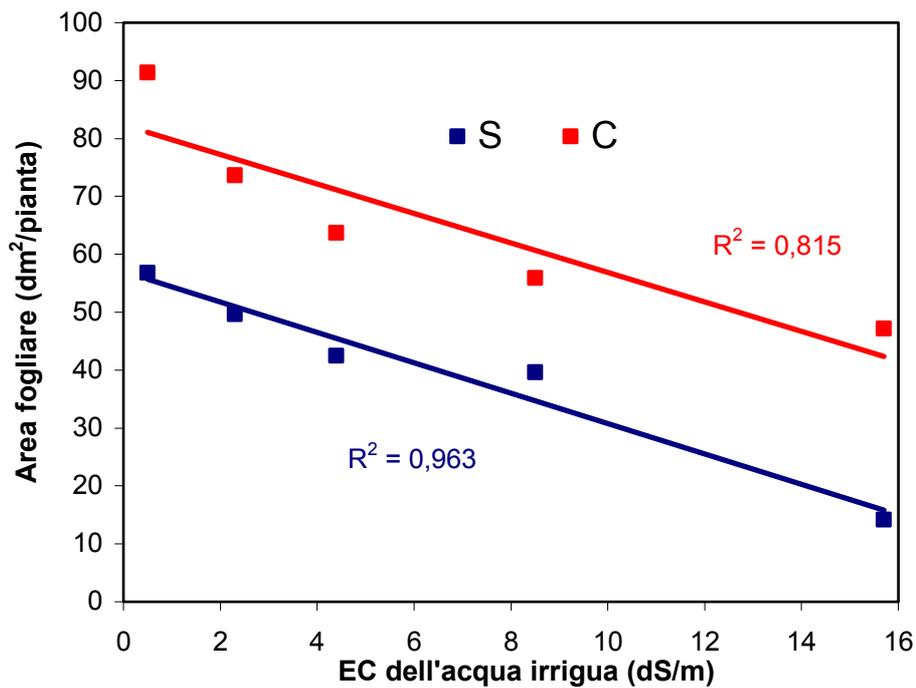


Figura 16. Area fogliare massima in funzione della salinità dell'acqua di irrigazione.

Anche la sostanza secca pianta in generale decresce al crescere dello stress salino nei due campi, con differenze molto più marcate rispetto all'area fogliare. In particolare nel campo salinità di lungo periodo si ha un decremento della sostanza secca pianta di circa il 60% nella tesi a più forte stress (1%) rispetto alla tesi controllo (0%). Tale decremento è solo del 25% nel campo salinità di breve periodo (Fig. 17).

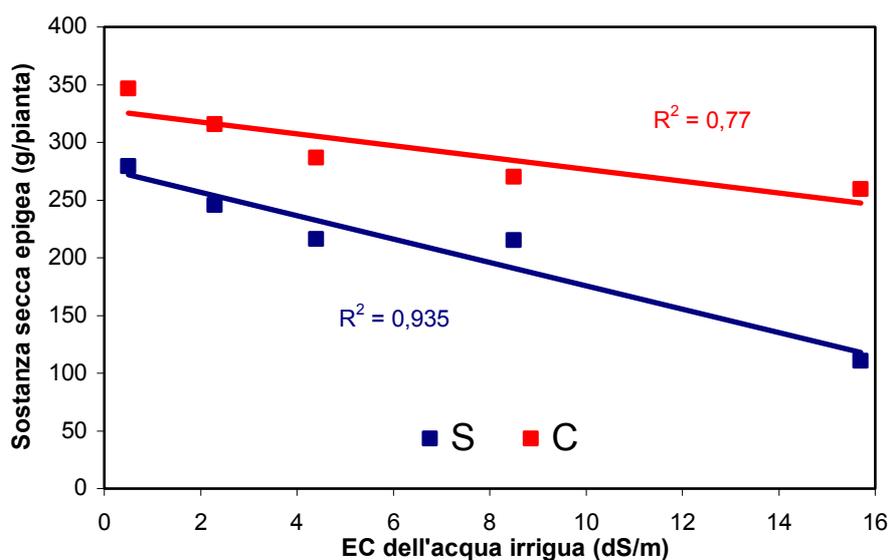


Figura 17. Sostanza secca totale epigea massima in funzione della salinità dell'acqua di irrigazione.

2005

La salinità residua ha significativamente condizionato l'accrescimento vegetativo (tab. 12) come è risultato dalla analisi dei dati; le piante, infatti, hanno fatto registrare una diminuzione della crescita sia in termini di sostanza secca per pianta, raggiungendo nella tesi 1% livelli inferiori a circa il 33% rispetto alla tesi 0%, che in termini di area fogliare, raggiungendo nella tesi 1% valori inferiori al 47% rispetto al controllo 0%. La non corrispondenza tra diminuzione di sostanza secca e area fogliare per effetto della salinità del terreno trova conferma nel peso specifico delle foglie, che indica una maggiore massa per unità di superficie delle foglie nelle piante allevate nelle tesi più salinizzate (0,5%, 1%), con tessuti normalmente più ispessiti.

Tabella 12 - Accrescimento 2005

<i>NaCl (%) – EC (dS/m)</i>	<i>SS Fg (g/pianta)</i>	<i>SS Fg (%)</i>	<i>LA (dm²/pianta)</i>	<i>SS epigea (g/pianta)</i>	<i>SLW (g/dm²)</i>	
<i>0% - 0.5</i>	68,8	13,8	65,5	213,1	1,05	
<i>0.125% - 2.3</i>	64,0	14,8	61,0	198,9	1,05	
<i>0.25% - 4.4</i>	57,9	15,1	56,1	182,3	1,04	
<i>0.5% - 8.5</i>	53,2	15,8	47,2	168,5	1,13	
<i>1% - 15.7</i>	44,9	18,1	34,6	142,8	1,35	
	**	*	**	**	*	
DMS	6,2	2,9	7,1	15,6	0,42	
Campo						
	<i>S</i>	51,8	15,6	46,8	165,8	1,15
	<i>C</i>	63,6	15,4	58,9	196,4	1,10
		**	ns	*	*	*
	DMS	3,33		7,57	18,58	0,45
Acidi umici						
	<i>HA</i>	59,9	15,4	54,5	190,9	1,05
	<i>N</i>	55,6	15,6	51,3	171,3	1,20
		*	ns	ns	*	ns
	DMS	3,9			9,9	

La percentuale di sostanza secca foglie è risultata anch'essa influenzata dalla salinità residua del suolo, si è, infatti, registrato un aumento significativo della percentuale di sostanza secca all'aumentare della salinità, con un decremento nella tesi controllo di circa il 24% rispetto alla tesi più salinizzata 1% .

La crescita delle piante è risultata influenzata in maniera significativa in alcune sue componenti dall'effetto campo. La sostanza secca delle foglie, la sostanza secca epigea totale e l'area fogliare per pianta hanno subito un significativo decremento nel campo salinità di lungo periodo rispetto al campo salinità di breve periodo. Il peso specifico delle foglie, invece, ha fatto registrare valori significativi maggiori nel campo S rispetto al campo C.

Gli acidi umici hanno determinato un significativo incremento sia della sostanza secca delle foglie che della sostanza secca epigea totale prodotta per pianta ed una conseguente riduzione della SLW.

La superficie fogliare ha raggiunto il suo sviluppo massimo a 70 giorni dal trapianto sia nel campo salinità di lungo periodo che nel campo salinità di breve periodo e poi si è stabilizzata (figg. 18 e 19). Le piante del campo S hanno mostrato valori di superficie fogliare minori durante il ciclo colturale. Tra le tesi le differenze sono state abbastanza nette: nella tesi 1% di entrambi i campi la superficie fogliare massima è risultata circa il 45% in meno della tesi controllo.

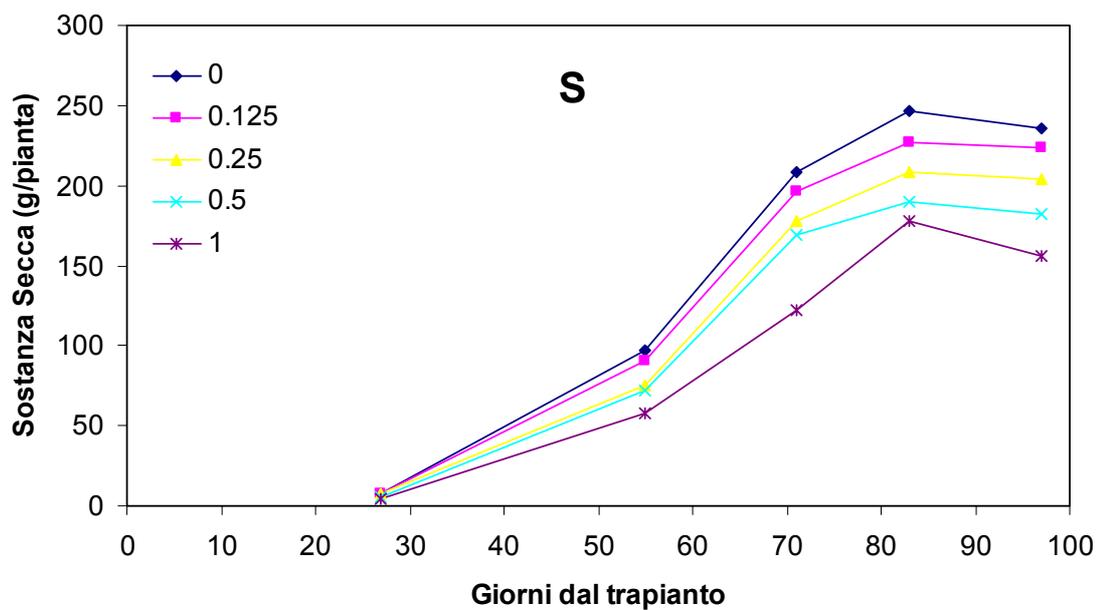


Figura 18 - Andamento dell'accumulo di sostanza secca totale epigea nel campo S in funzione della salinità.

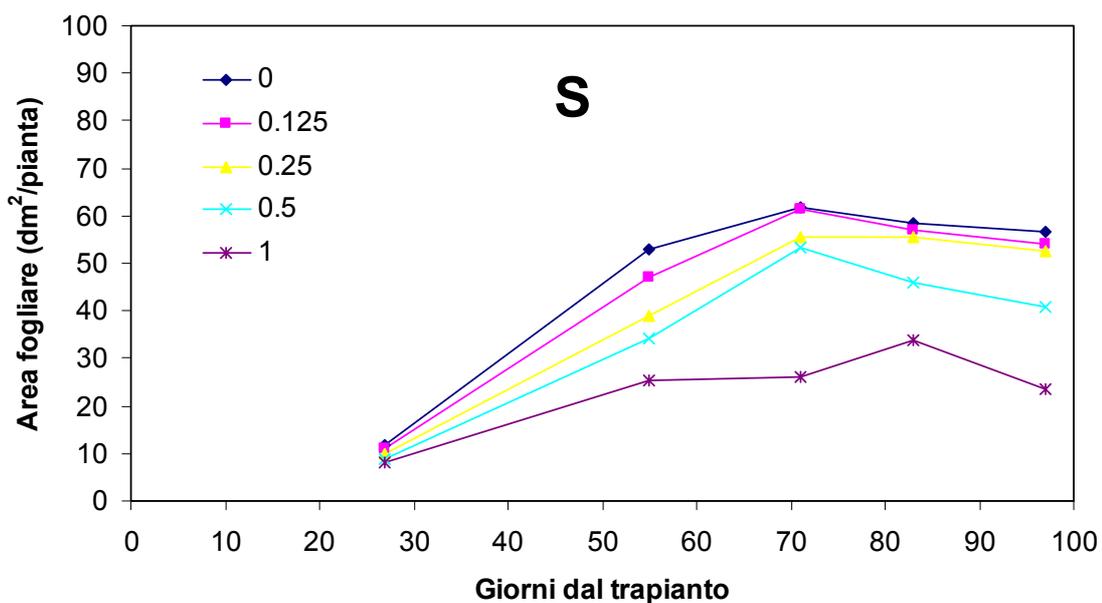


Figura 19 - Andamento dell'area fogliare nel campo S in funzione della salinità.

La sostanza secca per pianta (figg. 20 e 21) ha raggiunto il suo massimo valore nel campo S, per tutte le tesi a confronto, a 83 giorni dal trapianto. Come nel caso della superficie fogliare si sono avute differenze tra le tesi con valori decrescenti all'aumentare della salinità residua del terreno. In particolare la tesi 1% ha mostrato una riduzione di sostanza secca per pianta del 27% rispetto al controllo, quindi minore di quella rilevata per la superficie fogliare.

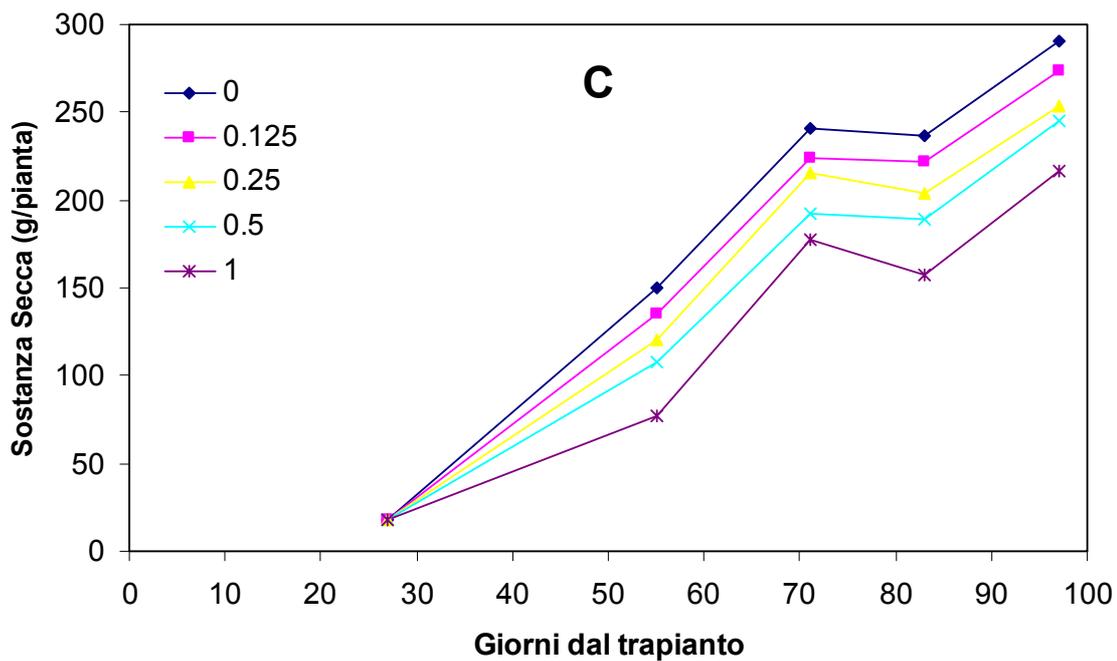


Figura 20 - Andamento della sostanza secca totale per pianta nel campo C in funzione della salinità

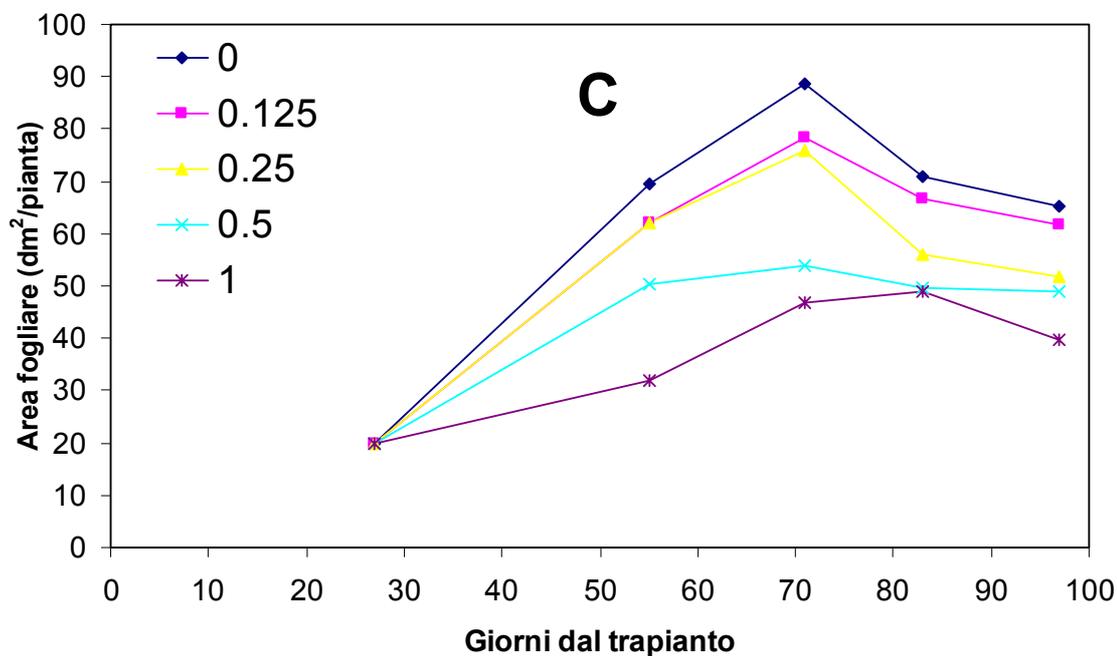


Figura 21 - Andamento dell'area fogliare nel campo C in funzione della salinità

Nel campo C l'accumulo di sostanza secca è risultato maggiore rispetto a quello ottenuto nel campo S per tutte le tesi a confronto ed è aumentato sino alla raccolta con valori decrescenti al crescere della salinità residua del terreno. In particolare la tesi 1% ha mostrato una riduzione di sostanza secca per pianta del 25% rispetto al controllo, quindi, anche in questo caso, minore di quella rilevata per la superficie fogliare.

3.6. Produzione

Dall'analisi dei parametri produttivi (tab. 13) è emerso che l'anno 2004 ha mostrato una produzione totale e una produzione commerciale significativamente superiori rispetto al 2005; la maggiore produzione riscontrata nel 2004 è stata accompagnata da una significativa riduzione del peso medio bacche e da percentuali di sostanza secca più elevate rispetto al 2005, anno in cui la coltura non è stata sottoposta ad irrigazione salina.

Tabella 13 – Risultati produttivi

<i>Anno</i>	Prod. Tot. t/ha	Prod. Comm. t/ha	P.M. Bacca g	Scarto %	S.S. Bacca %
2004	83,8	77,6	52,8	10,3	7,6
2005	74,9	69,3	60,8	8,5	6,0
	*	*	**	ns	**
Campo					
S	64,6	65,4	55,7	10,6	7,1
C	94,2	86,7	57,9	8,2	6,5
	**	**	ns	ns	**
NaCl (%) – EC (dS/m)					
0% - 0.5	101,8	93,9	63,7	8,0	5,9
0.125% - 2.3	97,6	92,5	62,1	5,3	6,4
0.25% - 4.4	84,9	79,5	59,2	6,4	6,4
0.5% - 8.5	66,3	60,0	56,0	10,4	7,0
1% - 15.7	46,3	40,9	43,2	17,0	8,5
	**	**	**	**	**

<i>Acidi umici</i>					
<i>HA</i>	80,6	74,3	56,4	9,5	6,8
<i>N</i>	78,1	72,7	57,3	9,3	6,8
	ns	ns	ns	ns	ns

Un aumento significativo di produzione totale e commerciale è stato registrato nel campo salinità di breve periodo rispetto alla salinità di lungo periodo. In termini percentuali possiamo dire che il campo salinità di breve periodo ha prodotto in media il 31% in più di produzione totale e circa il 25% in più in produzione commerciale rispetto alla salinità di breve periodo. Diverso comportamento ha mostrato la percentuale di sostanza secca bacca con valori significativamente maggiori nel campo S rispetto C.

La produzione (tab. 13), espressa in termini di produzione totale, produzione commerciale e peso medio bacche, è significativamente diminuita al crescere dello stress salino applicato. In particolare, per la produzione totale la tesi 1% ha prodotto il 60% in meno rispetto al controllo. La produzione commerciale ha mostrato un decremento del 61% rispetto al controllo. Anche il peso medio bacche è stato influenzato significativamente dalla salinità con decrementi di peso nella tesi più salina del 32% rispetto al controllo.

Andamento opposto ha mostrato la percentuale di sostanza secca bacche che ha fatto riscontrare aumenti significativi all'aumentare dello stress salino applicato con valori più alti nella tesi 1%. L'aumento dello stress salino ha anche determinato l'incremento significativo della percentuale di scarto con i valori più elevati nella tesi 1% che ha fatto registrare il uno scarto di circa il 17%, mentre nella tesi controllo lo scarto è risultato dell'8%. Lo scarto più basso (5%) è stato registrato nella tesi 0,125%.

Non sono state registrate differenze significative per il trattamento con acidi umici.

Sono state osservate interazioni significative anno x campo per il peso medio e la percentuale di sostanza secca delle bacche. Nel 2004 il peso medio bacche ha fatto registrare valori nettamente inferiori nel campo salinità di lungo periodo rispetto alla salinità di breve periodo. Tali differenze si sono quasi del tutto annullate nel 2005. Differenze si sono registrate anche per la percentuale della sostanza bacca nel 2004 con valori superiori nel campo S (12,5%) rispetto al campo C (8,32%). Anche in questo caso le differenze tra i due campi si sono quasi del tutto annullate nel 2005 (Fig. 22).

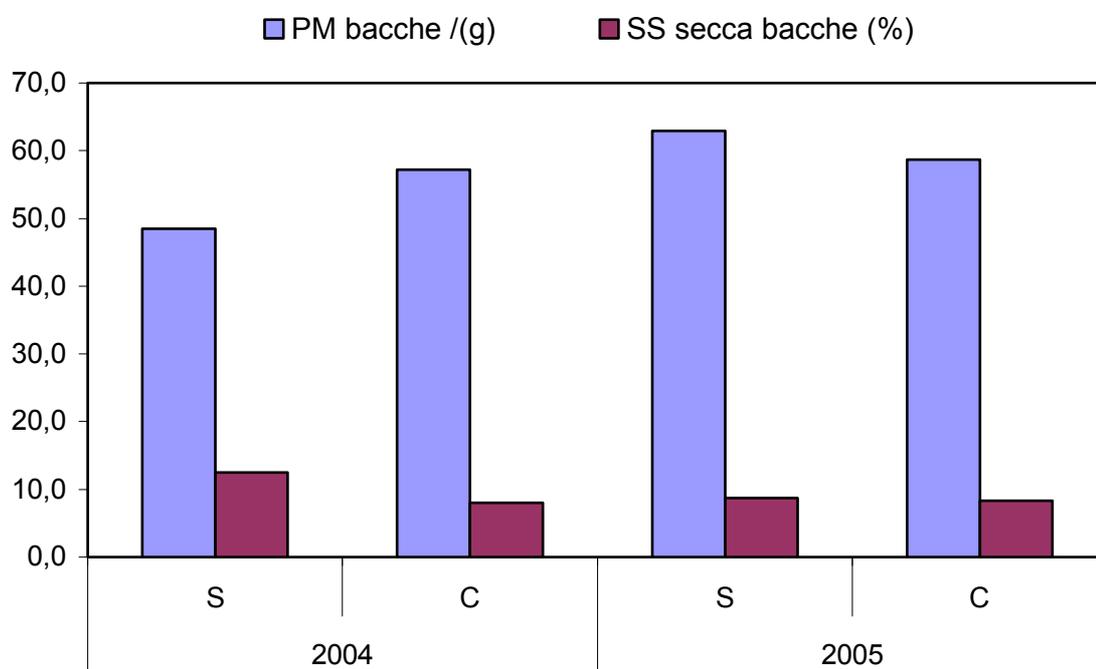


Figura 22 –

Interazioni significative anno x salinità sono state osservate per molti dei parametri produttivi presi in considerazione.

La produzione totale, è diminuita in entrambi gli anni al crescere della salinità, tali decrementi sono stati più sensibili nell'anno 2004 anno in cui il decremento della produzione nella tesi più salina rispetto al controllo ha superato il 60%. In

corrispondenza di tale tesi, inoltre, la produzione totale è risultata più elevata nel 2005 rispetto all'anno precedente (Fig. 23).

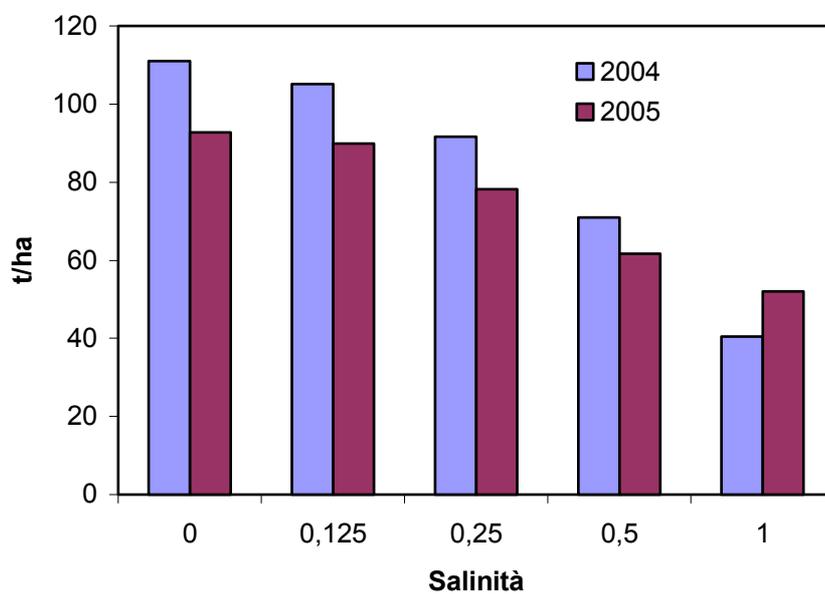


Figura 23 - Produzione totale

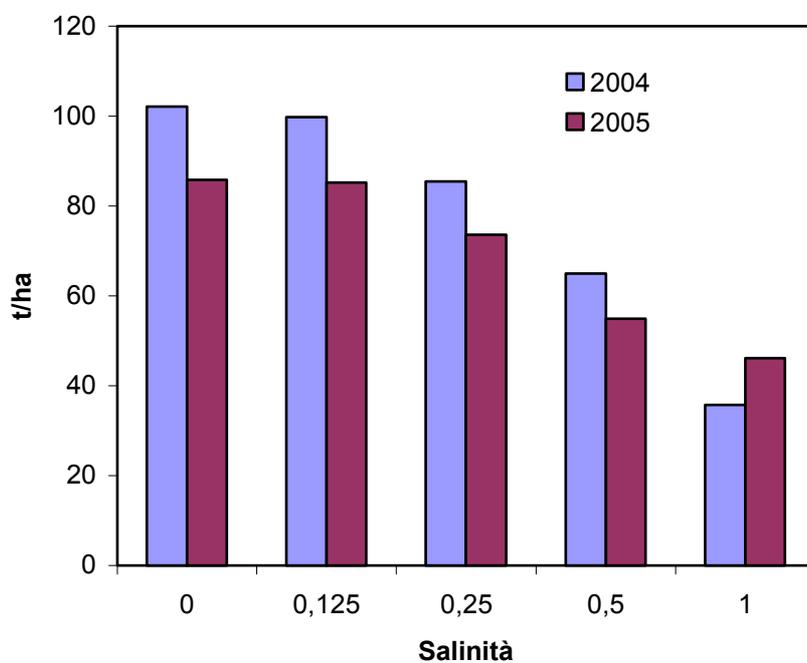


Figura 24 - Produzione commerciale

Anche la produzione commerciale è diminuita all'aumentare della conducibilità elettrica dell'acqua di irrigazione con decrementi molto più sensibile nell'anno 2004 rispetto al 2005 e valori più elevati nell'anno 2005 solo per la tesi più salinizzata (Fig. 24).

Il peso medio bacche nel 2004 è diminuito al crescere della salinità con riduzioni significative che nella tesi più salinizzata hanno superato il 40% (Fig. 25).

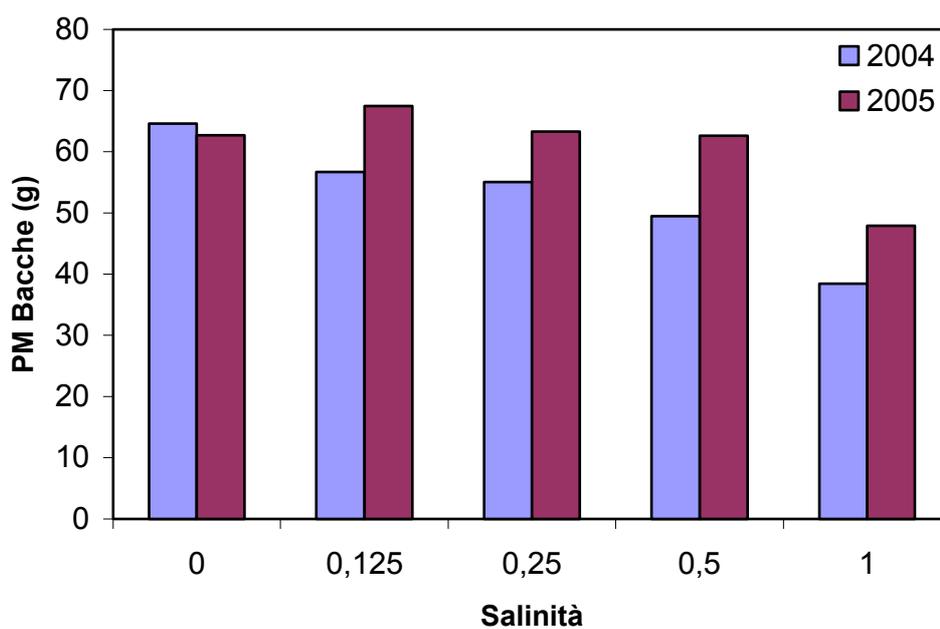


Figura 25 Peso medio bacche

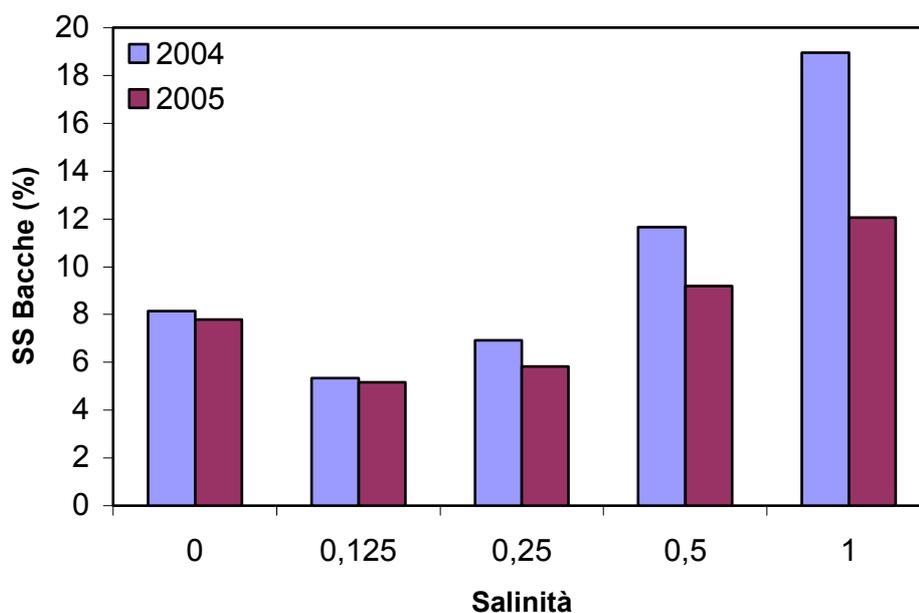


Figura 26 - Percentuale di sostanza secca bacche.

La percentuale di sostanza secca delle bacche è aumentata al crescere della salinità in entrambi gli anni, sebbene nell'anno 2004 tali incrementi sono risultati più marcati rispetto all'anno successivo soprattutto nelle tesi più salinizzate (Fig. 26).

Interazioni significative sono state osservate anche tra campo e salinità per alcuni dei parametri produttivi allo studio.

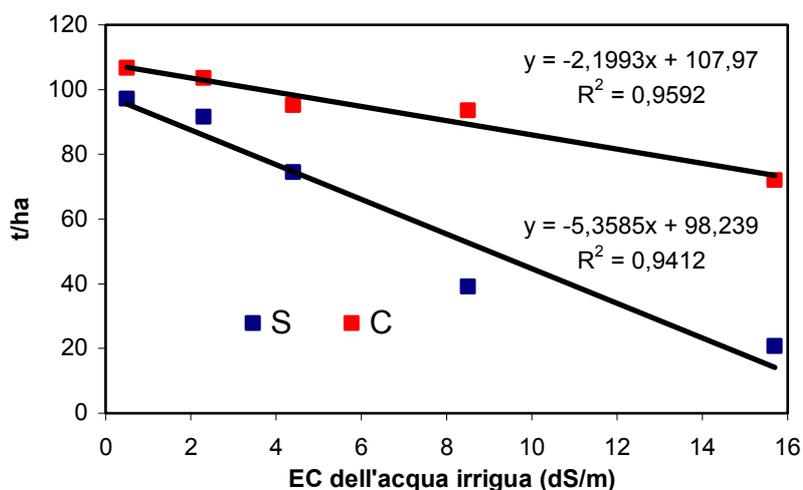


Figura 27 - Interazione campo x salinità per la produzione totale.

La produzione totale e la produzione commerciale hanno subito, in generale, decrementi all'aumentare della salinità in entrambi i campi. Tuttavia, per entrambi i parametri, la riduzione è risultata maggiore nel campo S e le differenze maggiori tra i due campi si sono avute per livelli di salinità superiori alla 0,25% (4,4 dS/m) (Figg. 27 e 28).

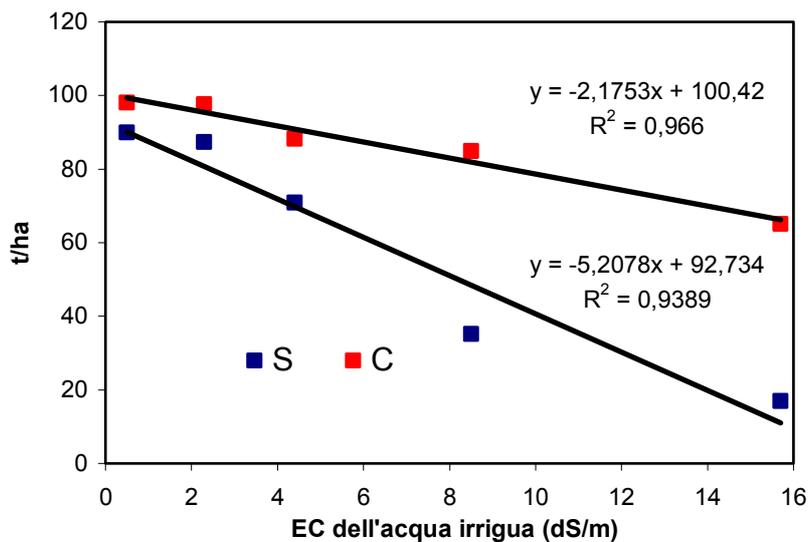


Figura 28 - Interazione campo x salinità per la produzione commerciale.

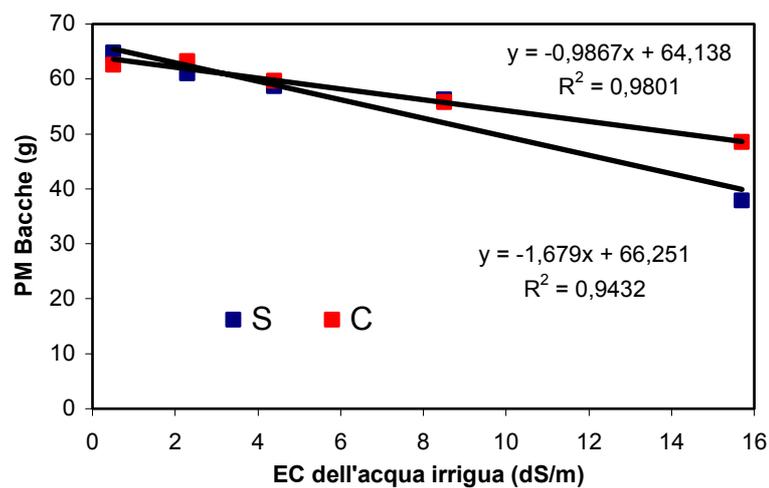


Figura 29 - Interazione campo x salinità per il peso medio delle bacche.

Anche il peso medio bacche ha subito decrementi al crescere della salinità in entrambi i campi, ma rispetto alla produzione totale e della produzione commerciale le differenze tra i due campi si presentano meno marcate e solo nelle tesi a più elevata salinità (Fig. 29).

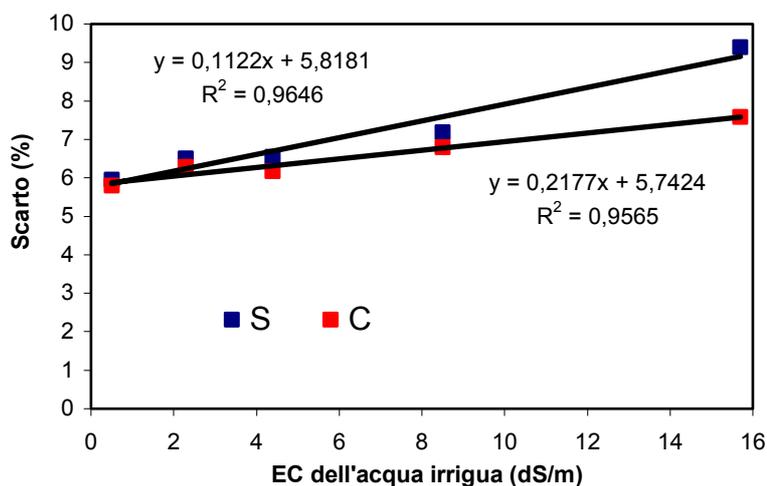


Figura 30 - Interazione campo x salinità per la percentuale di scarto.

La percentuale di scarto è aumentata all'aumentare della salinità in entrambi i campi con differenza tra questi ultimi evidenti solo nelle tesi sottoposte a maggiore stress (Fig. 30)

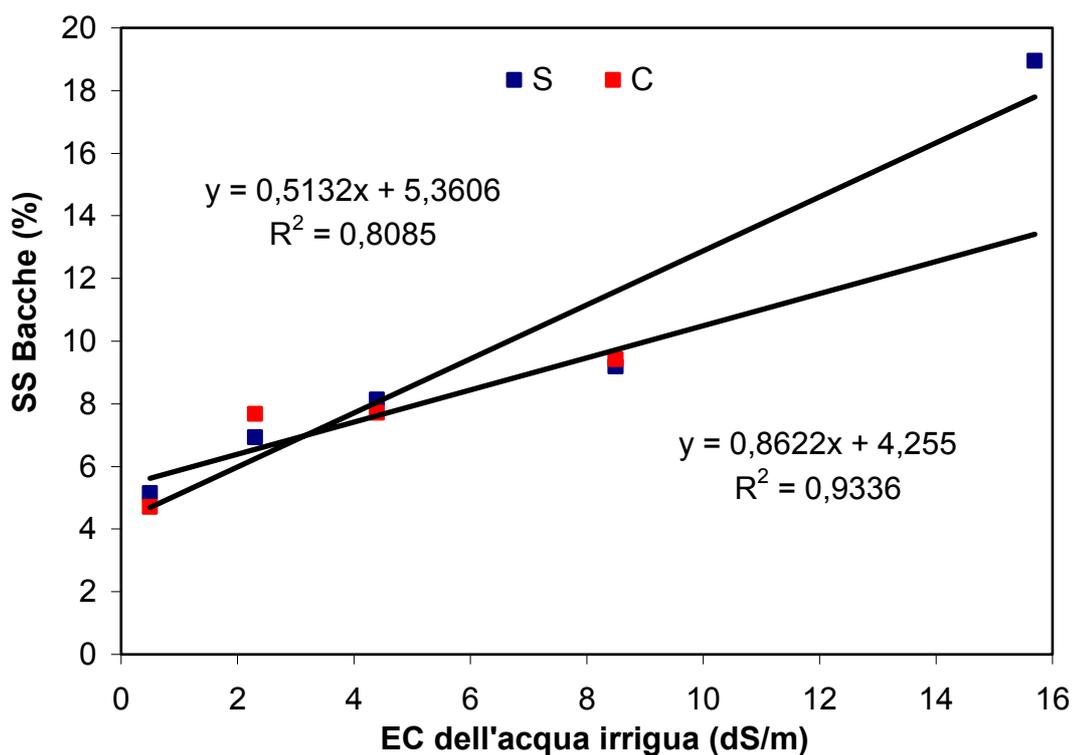


Figura 31 - Interazione campo x salinità per la percentuale di sostanza secca delle bacche.

Anche nella percentuale di sostanza secca bacche le differenze tra i due campi sono evidenti solo nelle tesi sottoposte a più elevato stress e si presentano più marcata nel campo S (Fig. 31).

Interazioni significative si sono avute anche tra campi ed acidi umici per i parametri produzione totale e produzione commerciale. In particolare nel campo salinità di lungo periodo le parcelle trattate con acidi umici hanno fatto registrare una produzione totale ed una produzione commerciale maggiore rispetto alle parcelle controllo. Tali differenze non sono risultate significative nel campo salinità di breve periodo (Fig. 32).

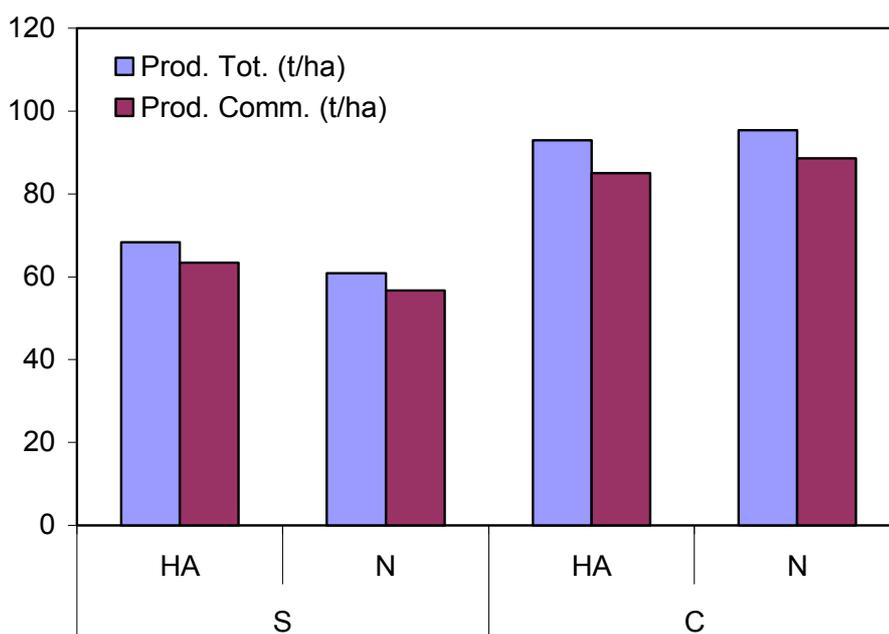


Figura 32 - Interazione campo x acidi umici per la produzione totale e commerciale.

Dall'applicazione del modello di Maas e Hoffmann alla resa relativa (espressa come della produzione di bacche ai diversi livelli di EC rispetto alla produzione della tesi controllo 0%) per il campo salinità di lungo periodo e salinità di breve periodo, nell'anno 2004, non sono state osservate sostanziali differenze nel parametro soglia (in media 3,5 dS/m), tuttavia il decremento percentuale di resa per incremento unitario di EC (la pendenza) è risultato leggermente superiore nel campo S.

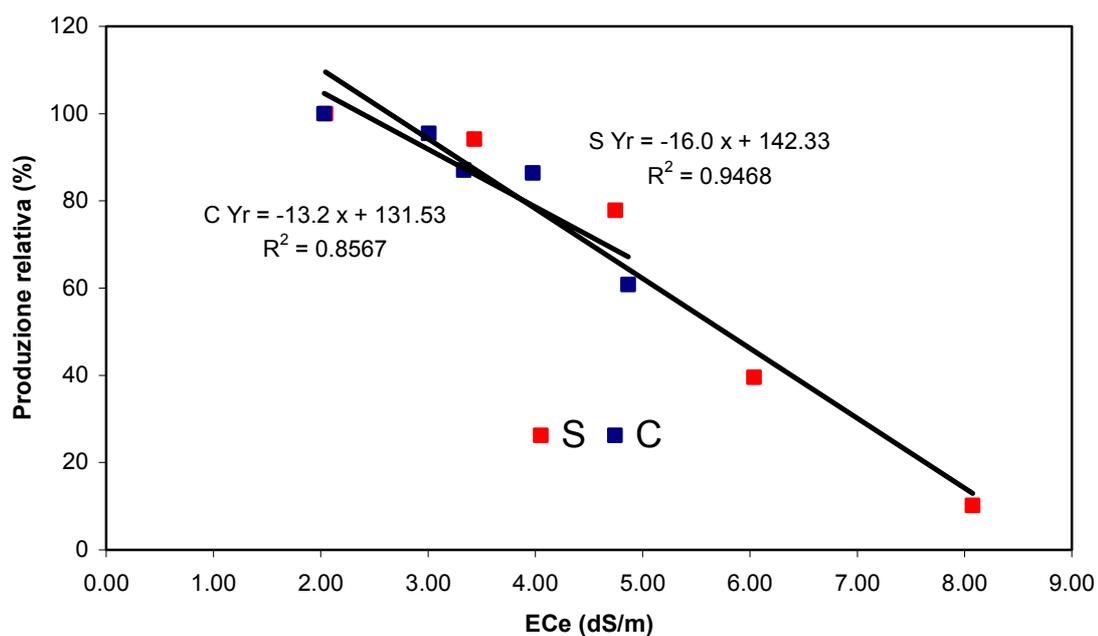


Figura 33 - Modello Maas e Hoffman 2004

Anche nel 2005 non sono state osservate differenze sostanziali nel parametro soglia che è risultato inferiore rispetto al 2004 (in media 1.85 dS/m) mentre la pendenza, anche se di poco, sembra essere leggermente più elevata (Fig. 34).

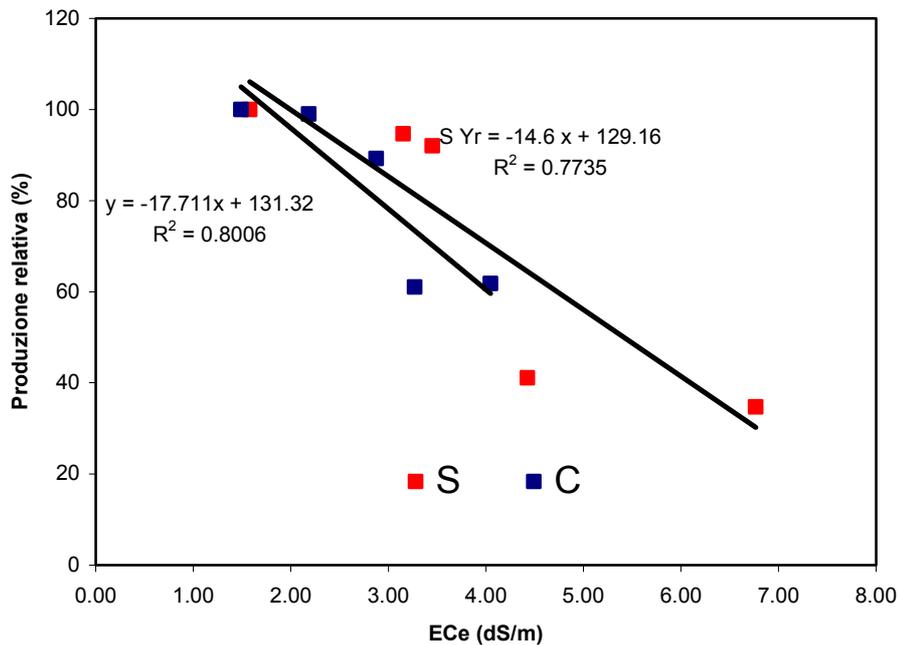


Figura 34 - Modello Maas e Hoffman 2005

3.7 Qualità delle bacche

Dall'analisi dei parametri qualitativi (tab. 14) è emerso che l'anno 2004, anno in cui è stata effettuata l'irrigazione salina, ha fatto registrare in media valori significativamente superiori di conducibilità elettrica (EC) e pH del succo rispetto al 2005.

Valori significativamente superiori di solidi solubili totali (SST) e pH sono stati ottenuti nel campo di salinità di lungo periodo (S) rispetto al campo salinità di breve periodo (C).

La salinità ha influenzato in maniera significativa la qualità delle bacche, con incrementi significativi all'aumentare della salinità dell'acqua di irrigazione per tutti i parametri considerati. In particolare l'acidità titolabile, la percentuale di zuccheri riduttori e il contenuto totale di solidi solubili hanno subito, rispettivamente, incrementi del 25%, 39% e 45% nella tesi più salinizzata (1%) rispetto al controllo (0%).

La salinità dell'acqua di irrigazione ha influenzato anche la conducibilità elettrica del succo di pomodoro facendo registrare incrementi sempre maggiori e significativi al crescere della stessa fino ad arrivare ad un incremento del 21% della tesi 1% rispetto alla tesi 0%. Anche il pH è aumentato significativamente al crescere dello stress salino applicato (tab. 14).

Tabella 14.

	Acidità Titolabile (g ac. citrico/100 g PF)	% zuccheri riduttori (g/100 g PF)	SST (°Brix)	EC (dS/m)	pH
Anno					
2004	0.62	3.41	5.91	4.70	4.24
2005	0.60	3.33	5.89	4.32	4.20
	n.s.	n.s.	n.s.	*	*
Campo					
S	0.60	3.43	6.31	4.61	4.32
C	0.62	3.31	5.48	4.41	4.12
	n.s.	n.s.	**	n.s.	**
DMS			0.299		0.033
NaCl (%) – EC (dS/m)					
0% - 0.5	0.54	2.72	4.69	3.95	4.16
0.125% - 2.3	0.58	2.66	4.68	4.29	4.19
0.25% - 4.4	0.59	3.00	5.38	4.68	4.24
0.5% - 8.5	0.62	4.00	6.59	4.65	4.25
1% - 15.7	0.72	4.47	8.14	4.99	4.26
	**	**	**	**	**
DMS	0.056	0.458	0.472	0.492	0.051

Si è osservata una interazione significativa Anno x Salinità per il parametro pH. In generale il valore del pH è aumentato al crescere dello stress salino imposto in entrambi gli anni, in particolare tali incrementi risultano superiori nell'anno 2004 in cui si è effettuata l'irrigazione salina con differenze tra i due anni per le tesi estreme.

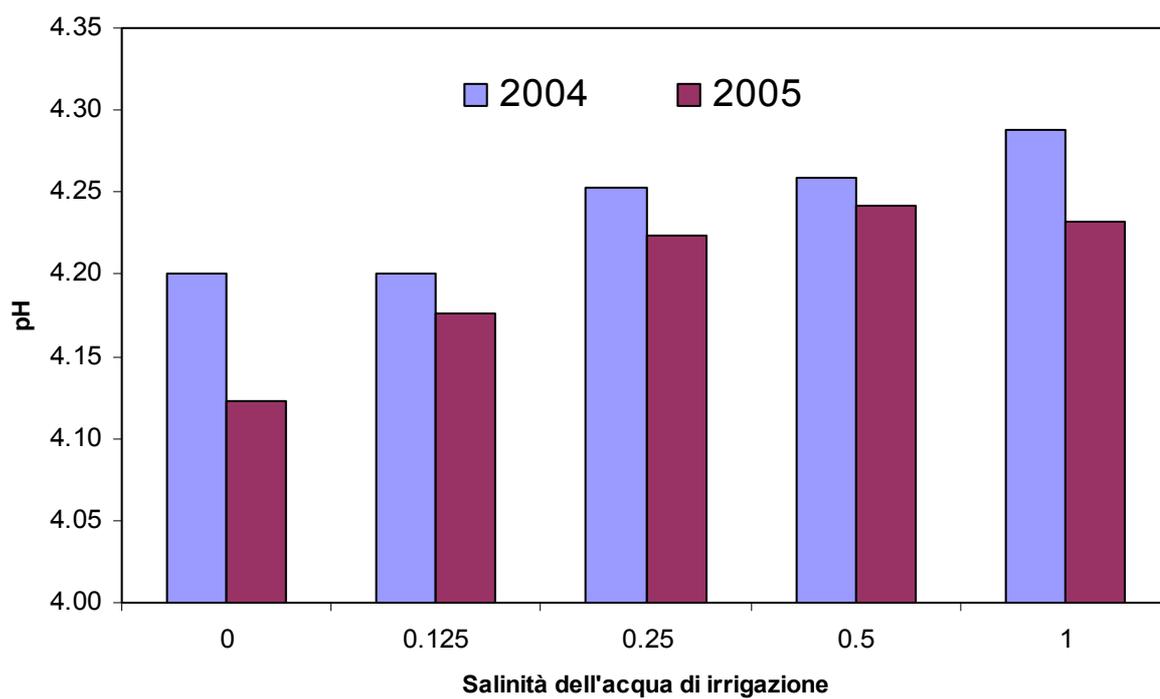


Figura 35 - Interazione anno x salinit  per il pH del succo di pomodoro.

4. Discussioni

Da un punto di vista agronomico, la salinità è un fenomeno complesso che implica effetti di breve e lungo periodo sia sulla pianta che sul terreno.

Nel campo salinità di lungo periodo, dopo anni di irrigazione con acque ad elevata concentrazione salina le proprietà fisico-chimiche del terreno sono significativamente e stabilmente alterate: il suolo del trattamento estremo ha assunto caratteristiche tipiche di alcalisuolo con una riduzione dell'indice di stabilità della struttura e della velocità di infiltrazione dell'acqua, contenuto idrico e pH maggiori, crosta superficiale, e conseguente scarsa aerazione nella zona radicale. In queste condizioni ambientali ed edafiche sotto un regime quasi-stazionario salino-sodico del terreno le colture sono state influenzate dalla salinità residua anche in assenza di ulteriori apporti salini via irrigazione. Il sodio nel terreno interagisce con gli ioni della soluzione circolante in misura variabile con la sua capacità di scambio e, nel lungo periodo, determina alterazioni del complesso dei rapporti terreno-acqua-cultura. Queste alterazioni influenzano in senso negativo la produttività delle colture ortive nonostante l'azione dilavante delle piogge nel periodo autunno-vernino. Infatti, sebbene queste ultime siano riuscite ad abbassare i valori della conducibilità elettrica dell'estratto saturo del terreno nello strato di terreno 0-40, la coltura di pomodoro è stata condizionata dalla salinità residua anche nel breve periodo. In pieno campo, numerosi fattori ambientali, climatici e colturali, rendono più variabile e non prevedibile l'entità della risposta delle piante allo stress salino, soprattutto in considerazione della elevata variabilità degli apporti naturali. Come già precedentemente accennato sia il livello che la tipologia dei sali presenti nell'acqua di irrigazione giocano un ruolo considerevole nelle diverse manifestazioni riscontrabili nelle piante e nel suolo; è indubbio poi che i diversi tipi di

terreno, per natura fisico-chimica, reagiscono in maniera sostanzialmente differenziata al contatto più o meno prolungato con acque saline. Quando la salinità è di tipo sodico, sono da prevedere effetti più pronunciati e maggiori problematiche nei suoli argillosi, dove la scarsa lisciviazione e l'elevata capacità di assorbimento ionico sono le cause scatenanti della degradazione strutturale. Il Sodio ha determinato effetti diretti ed indiretti sull'accrescimento e sulla produttività delle piante. Gli effetti diretti sono dovuti all'accumulo a livelli tossici, con sensibilità variabile in modo considerevole tra le specie e tra le cultivar. Gli effetti indiretti del Sodio riguardano sia gli squilibri nutrizionali sia il peggioramento delle condizioni fisiche del suolo, in quanto la dispersione degli aggregati del suolo porta ad una diminuzione della permeabilità del suolo all'aria ed all'acqua, con conseguenti riduzioni dell'accrescimento e della produzione.

In climi aridi o semiaridi e su terreni caratterizzati da un difficile sgrondo dell'acqua, infatti, le scarse precipitazioni sono incapaci di allontanare i sali dagli strati più superficiali del terreno. In queste condizioni, inoltre, gli elevati gradienti termici, che si verificano tra suolo e atmosfera possono favorire i moti ascensionali delle acque di falda (in genere poco profonde).

Per quanto, in questa esperienza, si sia irrigato con un volume che avrebbe dovuto assicurare un certo grado di lisciviazione dei sali, la conducibilità del terreno ed il pH sono aumentati progressivamente con la salinità dell'acqua di irrigazione. Inoltre, da un confronto dei nostri dati, relativi alle caratteristiche fisico-chimiche del suolo, con quelli rilevati in una prova precedente per lo stesso terreno da De Pascale et al. (2005), si può concludere che il deterioramento della struttura del terreno è un fenomeno che progredisce nel tempo.

L'influenza negativa della salinità sulle caratteristiche fisiche del terreno è evidente anche dall'analisi di altri parametri, quali la densità apparente, la porosità e il diametro medio degli aggregati.

Di certo, gli effetti negativi della salinità, nel campo salinità di breve periodo, si sono manifestati in maniera decisamente inferiore rispetto alla salinità di lungo periodo, come è risultato dal confronto tra i due campi. Ciò nonostante, dai risultati ottenuti, possiamo affermare che anche una sola stagione di irrigazione con acque saline può comportare un deterioramento, se pur parziale, del terreno. Dai risultati ottenuti sembrerebbe che la presenza di acidi umici non abbia modificato la risposta del terreno e della coltura alla salinità. Tuttavia occorre considerare che il terreno oggetto di studio è un terreno argilloso che, come detto, è più sensibile all'azione del sale. Inoltre, la ricerca ha valutato l'efficacia degli apporti di acidi umici in un periodo relativamente breve.

Per quanto riguarda l'effetto della salinità sulla pianta, è da mettere in rilievo che non è stato osservato un incremento della mortalità, ma piuttosto una riduzione dello sviluppo e della superficie fogliare che è risultata essere correlata ad una riduzione della sostanza secca. La riduzione dell'area fogliare per pianta, unitamente alla minore efficienza fotosintetica dell'unità di superficie fogliare, ha comportato la diminuzione della produzione (Maggio *et al.*, 2004). La riduzione dell'area fogliare è anche probabilmente associata all'accumulo di ioni tossici che possono influenzare la divisione ed espansione cellulare e determinare la senescenza precoce dei tessuti (Ruggiero *et al.*, 2004).

Anche la resistenza stomatica è risultata influenzata dalla conducibilità elettrica dell'acqua di irrigazione. In particolare, all'aumento della salinità si è riscontrato un

aumento della resistenza stomatica nelle varie tesi a confronto. Ciò è probabilmente da correlarsi all'aumento del contenuto di acido abscissico nei tessuti delle piante salinizzate (Muuns, 2002a; Hasegawa *et al.*, 2000). La riduzione dell'accrescimento in condizioni di salinità è stata accompagnata da una diminuzione del potenziale totale e delle sue componenti (potenziale osmotico e pressione di turgore), come riscontrato anche da altri autori (Ruggiero *et al.*, 1994; De Pascale *et al.*, 1995; 2001).

In seguito a stress osmotico l'eccesso di ioni Na nella soluzione nutritiva nel suolo comporta un abbassamento del potenziale osmotico fogliare dovuto inizialmente ad un loro accumulo nel citoplasma. Oltre certi livelli, è necessaria la compartimentalizzazione del sodio nel vacuolo per minimizzare i suoi effetti tossici nel citoplasma. La compartimentalizzazione del Na implica la crescente necessità di produrre soluti compatibili che si traduce, in ultima analisi, in un maggiore aggiustamento osmotico dei tessuti.

Le piante hanno manifestato una capacità di aggiustamento osmotico proporzionale al livello di salinizzazione. L'attivazione della biosintesi di soluti compatibili in seguito a stress iperosmotici è stata documentata in dettaglio per le solanacee (Maggio *et al.*, 2002). Nel caso del pomodoro, è stata dimostrata una specifica regolazione del *pathway* di biosintesi della prolina in seguito a stress idrico o salino che può portare ad un notevole accumulo rispetto al suo livello basale (Maggio *et al.*, 2002). Da ciò si evince che la capacità di aggiustamento osmotico, mostrata dalle piante sottoposte a stress salino, potrebbe non essere stata determinata solo da un accumulo di sodio e cloro nei tessuti fogliari, ma che, all'incremento della concentrazione di questi ioni, si è associata, in un secondo momento, la sintesi di molecole osmoticamente attive. Benché la concentrazione fogliare di prolina non sia stata determinata nel nostro

esperimento, è presumibile che l'accumulo di ioni Na e Cl abbia contribuito solo parzialmente all'aggiustamento osmotico mentre la biosintesi di prodotti organici potrebbe aver giocato un ruolo più determinante (Rhodes e Samaras, 1994).

L'elevata capacità di aggiustamento osmotico della tesi 1% sta tuttavia ad indicare che quest'adattamento fisiologico è solo *uno* dei meccanismi attivati in risposta ad uno stress iperosmotico che non è sempre associato ad una più elevata produzione commerciabile.

La produzione, come era da attendersi, è stata influenzata dalla salinità sia nella resa che in altri caratteri produttivi. Le maggiori produzioni totale e commerciale registrate nell'anno 2004 rispetto al 2005 sono probabilmente da ascrivere al regime termopluviometrico più favorevole ed, in particolare, alle maggiori precipitazioni registrate prima e durante il periodo di coltivazione nell'anno 2004 che hanno contribuito a dilavare l'eccesso di sali nel terreno.

I valori di soglia e pendenza determinati secondo l'equazione di Maas e Hoffman (su base E_{Ce}) sono risultati molto simili per i due anni ed i due campi a confronto confermando, anche per la cultivar allo studio, una moderata sensibilità alla salinità ($1,3 \text{ dS/m} < E_{Ce} \text{ Soglia} < 6 \text{ dS/m}$).

Nel caso specifico, la riduzione della produzione in ambiente salino sembra derivare da un effetto sinergico tra tossicità dei sali, elevata temperatura e bassa umidità relativa, che determina una diminuzione del tasso di crescita delle bacche.

La riduzione della produzione è stata, infatti, determinata principalmente dalle minori dimensioni delle bacche piuttosto che da una riduzione del numero di queste. Tale decremento è dovuto principalmente ad una riduzione del tasso di espansione durante la fase di accrescimento, una fase particolarmente sensibile all'effetto tossico

e/o osmotico del sale accumulato nella pianta nel corso della stagione colturale (Adams e Ho, 1989).

In linea con quanto dimostrato in precedenti esperienze (De Pascale *et al.*, 2001), l'aumento della conducibilità elettrica dell'acqua di irrigazione ha determinato modifiche anche nella qualità delle bacche di pomodoro.

In accordo con quanto verificato in altri studi, la salinità ha determinato una riduzione del peso medio delle bacche (Ho, 1989; Adams, 1991; Petersen *et al.*, 1998). La percentuale di sostanza secca ed il contenuto dei solidi solubili totale delle bacche mature sono aumentati al crescere della salinità. L'aumento della percentuale di sostanza secca e l'incremento dei solidi solubili sono molto probabilmente associati ad un effetto concentrazione e ad un accumulo attivo dei soluti, principalmente ioni e molecole organiche, tipicamente prodotte in situazioni di stress delle piante (Hasegawa *et al.*, 2000). La salinità ha inoltre determinato un aumento di zuccheri riduttori e dell'acidità titolabile parametri responsabili della qualità organolettica e nutrizionale dei prodotti vegetali.

L'aumento di acidità nei frutti da piante salinizzate è già stato segnalato su pomodoro (Petersen, 1998; Mitchell *et al.*, 1991) ma anche su melanzana (Savvas e Lenz, 1996) e melone (Feigin *et al.*, 1987) ed è stato correlato ad un incremento del livello di acidi organici in presenza di stress (De Pascale *et al.*, 2001).

5. Conclusioni

La presenza di sale nella soluzione circolante comporta un abbassamento del potenziale idrico del terreno cui le piante reagiscono attivando una serie di meccanismi finalizzati a ristabilire un bilancio idrico e ionico. La sequenza degli eventi fisiologici che si verificano in molte colture agrarie sottoposte a stress salino è, a tutt'oggi, oggetto di discussione. Nelle glicofite, categoria a cui appartengono il pomodoro e la maggior parte delle piante coltivate, l'effetto più evidente della salinità è la riduzione della crescita. La risposta fisiologica allo stress salino è per molti aspetti simile a quella indotta dallo stress idrico. Tuttavia, nel primo caso, l'attivazione dei meccanismi necessari a ristabilire un bilancio idrico ottimale, quali aggiustamento osmotico e regolazione del trasporto idrico, è in genere associata all'induzione di meccanismi di detossificazione (compartimentalizzazione ionica) finalizzati a preservare le normali attività citoplasmatiche. Queste funzioni possono essere attivate in sequenza o in parallelo secondo degli specifici meccanismi di regolazione. Un esempio tipico di risposte funzionalmente coordinate in presenza di stress iperosmotico è dato dall'attivazione del pathway di biosintesi della prolina, un soluto compatibile molto diffuso in natura, che è in genere mediata dall'azione dell'acido abscissico, il quale a sua volta regola altre funzioni importanti per l'adattamento (chiusura stomatica).

In pomodoro, la crescita e la produzione subiscono decrementi già a livelli medi di salinità e le riduzioni di crescita sono conseguenti alla riduzione degli scambi gassosi per unità di superficie fogliare (evidenziata dall'aumento della resistenza stomatica) ed alla riduzione di superficie fogliare per pianta.

In terreni caratterizzati da una significativa componente argillosa la salinità delle acque di irrigazione condiziona la crescita delle colture a causa di un peggioramento

della struttura che porta a difficoltà nell'assorbimento idrico, minore aerazione, riduzione della conducibilità idraulica, aumento della resistenza alla penetrazione delle radici. Tutte queste alterazioni comportano per la pianta condizioni di stress idrico e nutrizionale.

Le piogge dilavanti invernali sembrano mitigare relativamente gli effetti della salinità residua del suolo in funzione delle precipitazioni durante la stagione autunno-vernina.

La somministrazione di acidi umici al terreno nel breve periodo non sembra apportare notevoli miglioramenti alla degradazione fisica operata negli anni dai ripetuti interventi di irrigazione con acque saline.

Da queste considerazioni nasce l'esigenza di determinare la tolleranza e di caratterizzare la risposta alla salinità delle diverse colture negli ambienti specifici di coltivazione.

5. BIBLIOGRAFIA

Adams, P., 1991. *Effects of increasing the salinity of the nutrient solution with major nutrients of sodium chloride on the yield, quality and composition of tomatoes grown in rockwool*. Journal of Horticultural Science, 66, pp. 201-207.

Amzallag, G., N., 2002. *The adaptative potential of plant development: evidence from the response to salinity*. In *Salinity: Environment-Plants-Molecules*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands, pp. 291-312.

Aringhieri, R., 1997. *Salts and soil structure. Introduction*. In *salinity As a Limiting Factor For agricultural Productivity In the Mediterranean Basin*. Leone and Steduto (eds) First Trans-National Meeting. CNR – Irrigation Institute of Ercolano (NA) in collaboration with CNR – Office for Scientific and Technical Cooperation with Mediterranean Countries (NA) and CIHEAM – Mediterranean Agronomic Institute of Bari, Italy, pp: 141-152.

Australian Academy of Science, 1998. *Monitoring the white death-soil salinity: New technology is being used to help monitor the extent of dryland salinity threatening large areas of Australia's agricultural zone*. Webside: www.science.org.au/nova/032key.htm

Biosalinity Awareness Project, 2004. *Soil, water and plants*. Webside: www.biosalinity.org

Barbieri, G., De Pascale, S., 1992. *Salinità dell'acqua di irrigazione e colture ortofloricole*. *Colture Protette*, 2, pp. 75-81.

Bouwer, H., 2000. *Integrated water management, emerging issues and challenges*. *Agr. Water. Managment*, 42, pp. 217- 228.

Coppa, I., Woodgate, P., Webb, A., 1998. *Improving the management of dryland salinity in Australia through the national airborne geophysical projects*. National

Dryland Salinity Program: Know-how to tackle salinity. Website: www.ndsp.gov.au/NAGP/manage/bagp_pub.pdf

D.A.W.A. (Department of Agriculture, Western Australian), 1998. *Geophysical the focus of joint studies*. Primary focus, Winter edition n° 1.

D.A.W.A. (Department of Agriculture, Western Australian), 2001. *Salinity measurement*. Airborne geophysics-A tool for salinity assessment and management.

Dalton, F., N., Maggio, A., Piccinni, G., 2001. *Assessing the effect of solar radiation on plant salt tolerance as defined by the static and dynamic indices*. Plant and Soil, 229, pp. 189-195.

De Pascale, S. and Barbieri, G., 1995. *Effect of soil salinity from long-term irrigation with saline-sodic water on yield and quality of winter vegetable crops*. Scientia Horticulturae, 64, pp. 145- 157.

De Pascale, S., Barbieri, G., Sifola, M. I., Ruggiero, C., 1995. *Gas exchanges, water relations and growth of eggplant (Solanum Melongena l.) as affected by salinity of irrigation water*. Acta Hort., p. 412.

De Pascale, S., Barbieri, G., Ruggiero, C., 1997. *Effect of water on plant growth and water relations in snap bean (phaseolus Vulgaris l.)*. Proc. 2nd Int. Sym. On Irrigation of Hort. Crops, Ed. K.S. Chartzoulakis. Acta Hort., 449, pp. 649-655.

De Pascale, S., Barbieri, G., Ruggiero, C., 1998. *Consumptive water use and plant growth of watermelon as affected by irrigation and N fertilization*. Acta Hort. 458, pp. 49-56.

De Pascale, S. and Barbieri, G., 2000. *Yield and quality of carrot as affected by soil salinity from long-term irrigation with saline water*. Acta Hort., 357, pp. 621-628.

De Pascale, S., Maggio, A., Faugno, V., Ambrosino, P., Ritieni, A., 2001. *Irrigation with saline water improves carotenoids content antioxidants activity of tomato*. J. Hort. Sci. Biotechnol., 76, pp. 447-453.

De Pascale, S., Ruggiero, C., Barbieri, G., Maggio, A., 2003(a). *Physiological response of pepper to salinity and drought*. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 128(1), pp. 48-54.

De Pascale, S., Maggio, A., Ruggiero, C., Barbieri, G., 2003(b). *Growth, water relation, and ion content of field-grown celery (Apium Graveolens l. Var. Dulce (Mill.) Pers.) under saline irrigation*. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 128(1), pp. 136-143.

De Pascale, S., Angelino, G., Graziani, G., Maggio, A., 2003(c). *Effect of salt stress on water relations and antioxidant activity in tomato*. Acta Hort., 613, pp. 39-46.

F.A.O. & A.G.L., 2000. *Extent and causes of salt- affected soil in participating countries*. In *Global Network on Integrated Soil Management for Sustainable Use of Salt-affected Soils*. Land and Plant Nutrition Management Service. Food and Agriculture Organization of United Nations/Land and Water Development Division. Website: www.fao.org/ag/agl/agll/spush

F.A.O. & A.G.L., 2000(b). *Introduction*. In *Global Network on Integrated Soil Management for Sustainable Use of Salt-affected Soils*. Land and Plant Nutrition Management Service. Food and Agriculture Organization of United Nations/Land and Water Development Division. Website: www.fao.org/ag/agl/agll/spush

F.A.O. & A.G.L., 2000(c). *Saline soil*. Prosoil-Problem Soil Database. Food and Agriculture Organization of United Nations/Land and Water Development Division. Website: www.fao.org/ag/agl/agll/spush

FAO (Food and Agriculture Organization of United Nations), 2001. *Conservation Agriculture, case studies in Latin America and Africa*.

(<http://www.fao.org/DOCREP/003/Y1730E/Y1730E00.HTM>), FAO Soils Bulletins, n° 78.

Fagnano, M., Quaglietta Chiarandà, F., 2003. *Relazione tra qualità dell'ambiente e produzione agricola*. Atti del XXXV Convegno Società Italiana di Agronomia, Obiettivo Qualità Integrale: Il Ruolo della Ricerca Agronomica, Portici (NA), Italy, pp. 40-56.

Follet, Roy H., Murphy, Larry S., Doname, Roy L., 1981. *Reclamation and management of saline and sodic soils*. In: *Fertilizer and Soil Amendments*. New York, U.S.A., pp 424- 457.

Franzen, D., 2003. *Managing saline soils in North Dakota*. North Dakota State University, SF-1087.

Goyal, S.S., and Rains, D.W., 2003. *Strategies for managing crop production*. In *Crop production in saline environment: Global and integrative perspectives*. Goyal, S.S., Sharma, S. K., Rains, D. W. (eds). Food Products press. New York, U.S.A.

Graifenberg, A., Lipucci Di Paola, M., Giustiniani, L., 1993. *Yield and growth of globe artichoke under saline – sodic conditions*. Hort Science, 8, pp. 791 – 793.

Hasegawa, P. M., Bressan, R. A., Zhu, J.K., Bohnert, H. J., 2000. *Plant cellular and molecular responses to high salinity*. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 51, pp. 463-499.

Hsiao, T. C., 1973. *Plant response to water stress*. Ann. Rev. Physiol. Plant Mol. Biol., 24, pp. 519-570.

Hsiao, T.C., 1993. *Growth and productivity of crops in relations to water status*. Acta Horticulturae, 335, pp. 137 – 148.

Kafkafi, U., 1991. *Root growth under salinity stress*. In *Plant Roots: the hidden half*. Weiel Y., Eshel A., Kafkafi, U. (eds), Marcel Dekker, Inc. New York, pp. 375-391.

Kemper, W. D., and Rosenau, R. C., 1986. Size distribution of aggregates. In: A. Klute (Editor), *Method of Soil Analysis, Part 1*, 2nd Ed. Agron. Monogr. 9 ASA-SSSA, Madison, WI, pp. 425-442.

Läuchli, A., and Epstein, E., 1990. *Plant response to salinity and sodic conditions*. In *Agricultural salinity assessment and management*. Tanji K. K. (ed). Amer. Soc. Civil Eng. Manual Rpt Eng. Practice, 71, pp. 113-137.

Lauteri, M., Battistelli, A., Augusti, A., Moscatello, S., Brugnoli, E., 1997. *Effect of salinity on photosynthesis efficiency*. In *Salinity As a Limiting Factor For agricultural Productivity In the Mediterranean Basin*. Leone and Steduto (eds) First Trans-National Meeting. CNR – Irrigation Institute of Ercolano (NA) in collaboration with CNR – Office for Scientific and Technical Cooperation with Mediterranean Countries (NA) and CIHEAM – Mediterranean Agronomic Institute of Bari, Italy, pp. 209-216.

Lazof., D., Bernstein, N., 1999. *Effects of salinization on nutrient transport to lettuce leaves: consideration of leaf developmental stage*. *New Phytol.*, 144, pp. 85-94.

Maas, E. V., Hoffman, G. J., 1977. *Crop salt tolerance*. Amer. Soc. of Civil Eng. J. Irrig. Drain., 103, pp. 115-134.

Maas, E. V., 1986. *Salt tolerance of plants*. *Applied Agricultural Research* 1(1), pp. 12-26.

Maggio, A., Dalton, F., N., Piccinni, G., 2002(a). *The effect of elevated carbon dioxide on static and dynamic indices for tomato salt tolerance*. *European Journal of Agronomy*, 16, pp.197-206.

Maggio, A., Matsumoto, T., Hasegawa, P. M., Pardo J. M., Bressan, R. A., 2002(b). *The long and Winding road to halotolerance genes. In Salinity: Environments-Plants-Molecules.* Läuchli, A. and Lutttge, U., (eds), Klumer Academy Publishers, Netherland, pp.505-533.

Maggio, A., Bressan, R. A., Ruggiero, C., Xiong, L., Grillo, S., 2003. *Salt tolerance: placing advances in molecular genetics into a physiological and agronomic context.* In *abiotic Stresses in Plants*, Klumer Academy Publishers, Netherland, pp. 53-69.

Maggio, a., De Pascale, S., Angelino, G., Ruggiero, C., Barbieri, G., 2004. *Physiological of tomato to saline irrigation in Long Term salinized soils.* *European Journal of Agronomy*, 21, pp. 149-159.

Menenti, M., Chanduvi, F., 1997. *Remote sensing for detection and monitoring of salinity in irrigated lands. In salinity As a Limiting Factor For agricultural Productivity In the Mediterranean Basin.* Leone and Steduto (eds) First Trans-National Meeting. CNR – Irrigation Institute of Ercolano (NA) in collaboration with CNR – Office for Scientific and Technical Cooperation with Mediterranean Countries (NA) and CIHEAM – Mediterranean Agronomic Institute of Bari, pp. 113-122.

Maas, E. V., 1996. *Plant response to salinity.* 4th National Conference and workshop on the Productive Use and Rehabilitation of Saline Lands, Published by Promaco Conventions PTY LTD, Albany Western Australia.

Maas, E. V., Grattan, S. R., 1999. *Crop salt tolerance.* In *Agricultural drainage.* *Americ. Soc. Agron. Monogr.*, 38, pp.55-108.

Mitchell J. P., Shennan, C., Grattan S. R., May, D. M., 1991. *Tomato fruit yields and quality under water deficit and salinity.* *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 116, pp. 215-221.

Munns, R., 1999. *The impact of salinity stress.* The Foundation for Sustainable Agriculture – Coping with Plant Environment Stress.

Munns, R., 2002(a). *Comparative Physiology of salt and water stress*. Plant, Cell and Environ. 25, pp. 239-250.

National Soil Survey Center (NRCS), 1996. *Soil Quality Indicators: Aggregate Stability*. (http://soils.usda.gov/sqi/files/sq_eig_1.pdf).

Panero, M., 1987. *Salinità del terreno, dei fertilizzanti e delle acque di irrigazione*. Manuale pratico; REDA edizione per l'agricoltura. Roma, Italy, pp. 7-26.

Parè T., Diné H., Moulin A. P., Townley – Smith L., 1999. *Organic matter quality and structural stability of a Black Chernozemic soil under different manure and tillage practices*. Geoderma, 91, pp. 311 – 326.

Passiura, J. B., Munns, R., 2000. *Rapid environmental changes that effect leaf water status induce transient surges or pauses in leaf expansion rate*. Australian Journal of Plant Physiology, 27(10), pp.941-948.

Pereira L. S., Oweis T., Zairi A., 2002. *Irrigation management under water scarcity*. Agr. Water Management, 57, pp. 175-206.

Petersen K. K., Willumsen, J., Kaak, K., 1998. *Composition and taste of tomatoes salt-affected by increased salinity and different salinity sources*. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 73(2), pp. 205-215.

Piccolo A., Mbagwu J. S. C., 1989. *Effects of humic substances and surfactants on the stability of soil aggregates*. Soil Science, 147 (No.1), pp. 47 – 54.

Piccolo A., Mbagwu J. S. C., 1990. *Effects of different organic waste amendments on soil microaggregates stability and molecular sizes of humic substances*. Plant and Soil, 123, pp. 27 – 37.

- Piccolo A., Mbagwu J. S. C., 1994. *Humic substances and Surfactants effects on the stability of two tropical soils*. Soil Science Society of America Journal, 58 (No. 3), pp. 950 – 955.
- Piccolo A., Pietramellara G., Mbagwu J. S. C., 1996. *Effects of coal derived humic substances on water retention and structural stability of Mediterranean soils*. Soil Use and Management, 12, pp. 209 – 213.
- Piccolo A., Pietramellara G., Mbagwu J. S. C., 1997a. *Use of humic substances as soil conditioners to increase aggregate stability*. Geoderma, 75, pp. 267 – 277.
- Piccolo A., Pietramellara G., Mbagwu J. S. C., 1997b. *Reduction in soil loss from erosion – susceptible soils attended with humic substances from oxidized coal*. Soil Technology, 10, pp. 235 – 245.
- Piccolo A., Mbagwu J. S. C., 1999. *Role of Hydrophobic Components of Soil organic Matter in Soil Aggregate Stability*. Soil Science Society of American Journal, 63, pp.1801 – 1810.
- Piccolo A., Conte P., Cozzolino A., Spaccini R., 2001. *Molecular sizes and association forces of humic substances in solution*. Chapter 4. Soil Science Society of America, pp. 89 – 117.
- Piccolo A., 2002. *The supramolecular structure of humic substance, a novel understanding of humus chemistry and implication in soil science*. Adv. Agron.,75, pp. 57-134.
- Pitman, M.G., Läuchli, A., 2002. *Global impact of salinity and agricultural ecosystems*. In *Salinity: Environment – Plants – Molecules*. Läuchli, A., Luttge, U. (eds). Kluwer Academic Publishers. Dordrecht (The Netherlands), pp. 3-20.

Qadir, M., Oster, J., D., 2004. *Crop and irrigation management strategies for saline-sodic soil and water aimed at environmentally sustainable agriculture*. Science of the Total Environment, 323, pp. 1-19.

Reinhold, L., Guy, M., 2002. *Function of membrane transport system under salinity: plasma membrane*. In *salinity: Environment-Plants-Molecules*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands, pp. 397-422.

Rhoades, J. D., 1989. *Effect of salt on soils and plants*. Proc. Natnl. Water Conference. IR and WR Divs/ASCE, Newark (Delaware), pp.17-20.

Rhoades, J. D., 1991. *Effect of salt on soils and plants*. In *Management of Saline and Sodic Soils*, USDA-ARS Salinity Laboratory, Riverside, California, USA, pp.42-68.

Rhoades, D. and Samaras, Y., 1994. *Genetic control of osmoregulation in plants*. In *Cellular and Molecular Physiology of Cell Volume Regulation*. Strange K. (ed), CRC press., pp. 347-361.

Ruggiero C., Barbieri G., De Pascale S., 1994. *Effetti dell'irrigazione con acque a diverso contenuto salino sullo stato idrico, sull'accrescimento e sulla produzione della melanzana*. Riv. Agron., 28, pp. 222-234.

Ruggiero, B., Koiwa, H., Manabe, Y., Quist, T., M., Inan, G., Saccardo, F., Joly, R. J., Hasegawa, P., M., Bressan, R. A., Maggio, A., 2004. *Uncoupling the effects of abscisic acid on plant growth and water relation. Analysis of sto 1/nced3, an abscisic acid-deficient but salt stress-tolerant mutant in Arabidopsis*. Plant Physiology, 136(2), pp. 3134-3147.

Saxton, K. E., 2003. *Soil water characteristics in characteristics hydraulic properties calculator*. USDA in cooperation with Department of Biological system Engineering Washington State University

Saskatchewan Centre for Soils Research at the College of Agriculture, University of Saskatchewan (SCSRCA), 2002. Pubblicato *on line*
<http://www.interactive.usask.ca/ski/agriculture/index.html>

Seeling, B. D., 2000. *Salinity and sodicity in North Dakota Soils*. NDSU Extension Service and North Dakota State University.

Sequi, P., 1989. *Chimica del suolo*. Patron Editore. Bologna, Italia, pp. 406-413

Shalhevet, J., 1994. Using water of marginal quality for crop production: major issues. *Agric. Water Manage.*, 25, 233-269.

Shannon, M., 1997. *Adaptation of plants to salinity*. *Advances of Agronomy*, 60, pp. 5-120.

Sifola, M., I., De Pascale, S., Romano, R., 1995. *Analysis of quality parameters in eggplant grown under saline water irrigation*. *Acta Hort.*, 412, pp. 176-184.

Singh, K. N., Chatrath, R., 2001. *Salinity tolerance*. In *Application of Physiology in Wheat Breeding*. Reynalds, M. P., Ortiz-Monasterio, I., McNab, A.,(eds), Mexico D. F., CIMMYT, chapter 8, pp.101-110.

Spaccini R., Piccolo A., Conte P., Gerzabeck M. H., 2002. *Increased soil organic carbon sequestration through hydrophobic protection by humic substances*. *Soil Biology and Biochemistry*, 34, pp. 1839 – 1851.

Spies, B. R., 2001. *Australian developments in airborne electromagnetics from mineral to dryland salinity*. Australian Academy of Technological Science and Engineering. ATSE Focus n^o119.

Szabolcs, 1984. *Prognosis of Salinity and Alkalinity*. FAO Soils Bulletin 31. Food and Agriculture Organization of United Nations. Rome.

Tanji, K. K., 2002. *Salinity in the soil environment*. In *salinity: environment- Plants-Molecules*. Läuchli, A., Lüttge, U. (eds). Kluwer Academic Publishers. Dordrecht (The Netherlands), pp. 21-52.

Tedeschi A., Hamminga W., Postiglione L., Menenti M., 1996. *Sustainable irrigation scheduling, effects of saline water on soil physical proprieties*. In “*Irrigation scheduling, from theory to practice*”. Proceed ICID/FAO workshop on Irrigation scheduling, Roma, 12-13/995, pp. 195-204.

Tedeschi, P., and Lacirignola, C., 1997. *Introduction*. In *salinity As a Limiting Factor For agricultural Productivity In the Mediterranean Basin*. Leone and Steduto (eds) First Trans-National Meeting. CNR – Irrigation Institute of Ercolano (NA) in collaboration with CNR – Office for Scientific and Technical Cooperation with Mediterranean Countries (NA) and CIHEAM – Mediterranean Agronomic Institute of Bari, Italy.

Termaat, A., Passiura, J., B., Munns, R., 1985. *Shoot turgor does not limit shoot growth of NaCl-affected wheat and barley*. *Plant Physiology*, 77, pp. 869-872.

Umali, D., 2003. *Irrigation – induced salinity: A growing problem for development and environment*. World Bank Technical Paper number 215.

van Hoorn J.W., Katerji N., Hamdy A., 1997. *Long-term salinity development in a lysimeter experiment*. *Agr. Water Manage.*, 34, pp. 47-55.

van Hoorn J.W., Katerji N., Hamdy A., Mastrorilli M., 1993. *Effect of saline water on soil salinity and on water stress, growth and yield of wheat and potatoes*. Agr. Water Manage., 23, pp. 247-265.

Violante, P., 1996. *Chimica del suolo e nutrizione delle piante*. Edagricole. Bologna, Italia, p. 371.

Walinga, I., Van Der Lee, J., Houba, V. J. G., Van Vark, V., Novazamsky, I., Warrence, N. J., Bauder, J. W., Pearson, K. E., 2002. *Basics of salinity and sodicity effects on soils physical properties*. Department of Land Resources and Environmental Sciences, Montana State University-Bozeman.

Warrence, N. J., Bauder, J. W., Pearson, K. E., 2002. *Basics of salinity and sodicity effects on soils physical properties*. Department of Land Resources and Environmental Sciences, Montana State University-Bozeman.

Zhu, J., K., 2003. *Regulation of ion homeostatis under salt stress*. Current Opinion in Plant Biology, 6, pp. 441-445.